

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Lentokonetekniikan koulutusohjelma

Tutkintotyö

Jussi Nieminen

**AINEENKOETUSKONEESEEN LIITETTÄVÄN VOIMA-ANTURIN
SOVITTAMINEN JA KÄYTTÖÖNOTTO**

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Tampere 2005

Lehtori Simo Marjamäki

Tampereen ammattikorkeakoulu,

Projekti-insinööri Jani Katajisto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Lentokonetekniikan koulutusohjelma

Nieminen, Jussi

Aineenkoetuskoneeseen liitettävän voima-anturin
sovittaminen ja käyttöönotto

Tutkintotyö

34 sivua + 16 liitesivua

Työn ohjaaja

Lehtori Simo Marjamäki

Työn teettäjä

Tampereen ammattikorkeakoulu, valvojana Jani
Katajisto

Joulukuu 2005

Hakusanat

anturointi, wheatstone, venymäliuska, tiedonkeruu,
korrelaatio

TIIVISTELMÄ

Tämä tutkintotyö tehtiin Tampereen ammattikorkeakoulun konetekniikan laboratoriolle syksyllä 2005. Työssä tutustutaan materiaalitekniikassa suoritettavaan vetokokeeseen, anturointiin, erilaisilta antureilta suoritettavaan tiedonkeruuseen ja saadun tiedon hyödyntämiseen. Antureita käytetään kaikilla teollisuuden aloilla mittausten tekemiseen ja prosessien tarkkailuun, myös lentokoneteollisuudessa. Esimerkiksi Airbus käyttää tässäkin työssä tutkittuja venymäliuskoja ja mittavahvistinjärjestelmää tarkkaillessaan lentokoneidensa käyttäytymistä lennon aikana ja sen jälkeen. Tässä tutkintotyössä on suunniteltu voima-anturin kiinnitys aineenkoetuskoneeseen, otettu anturi käyttöön ja tutkittu jo asennettuna olevan paineanturin avulla aineenkoetuskoneen mittaritaulun näyttämän oikeellisuutta. Mittaritaulun näyttämä muodostuu suoraan järjestelmän öljynpaineesta, eikä voitu olla varmoja siitä, kuvastaako se tarkasti käytettyä voimaa. Muodostamalla voima-anturin ja paineanturin kanssa tehdyistä mittauksista taulukko saatiin selville, mikä voima vastaa mitäkin painetta vetokokeen aikana. Näistä arvoista piirrettyjen kuvaajien, niiden kulmakertoimien ja suoritettujen regressioanalyysien avulla saatiin tarvittavat voima/paine-suhteen arvot syötettyä tietokoneelle. Tämä mahdollistaa saatujen tulosten käytön myös tulevaisuudessa.

TAMPERE POLYTECHNIC

Aeronautical engineering

Nieminen, Jussi

Attachment of a load cell to a material testing device

Engineering Thesis

34 pages + 16 appendices

Thesis Supervisor

Simo Marjamäki

Commissioning Company

Tampere Polytechnic, Jani Katajisto

December 2005

Keywords

sensing, wheatstone, strain gage, data acquisition,
correlation

ABSTRACT

The purpose of this final thesis was to design an attachment for a load cell in a material testing device, to take into use said load cell and to examine with a preinstalled pressure sensor the validity of the reading of the material testing device's meter. The reading of the meter consists in the oil pressure of the system. There is no certainty that it accurately describes the applied force. Creating a chart of the measurements performed with the force and pressure sensors, the correspondence between force and pressure in the tensile experiment could be worked out. Regression analysis of the results and graphs thereof made possible the entry of values of force and pressure into a computer, thus enabling reuse of these results in the future.

ALKUSANAT

Haluan esittää vilpittömät kiitokseni kaikille lopputyöni valmistumiseen positiivisesti vaikuttaneille. Erityisesti haluan kiittää työni idean alkuperäistä kehittäjää ja koko työn aikana tukenutta Jani Katajistoja. Ilman hänen neuvojaan ja opastustaan työ olisi tuskin edes valmistunut.

Kotiväkeäni haluan kiittää kaikesta koko opiskeluaikani saadusta tuesta ja kannustuksesta matkalla opintojeni valmistumista kohti.

Tampereella 12. joulukuuta 2005

Jussi Nieminen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO	7
2 AINEENKOETUSKONEEN TOIMINTAPERIAATE	8
3 VETOKOE	9
3.1 Jännitys-venymä-piirros	9
3.2 Alkuvalmistelut	10
3.3 Kokeen suorittaminen	11
3.4 Myötöraja	12
3.5 Kokeen loppu	12
4 ANTURIT	13
4.1 Venymäliuska-anturin toimintaperiaate	14
4.2 Wheatstonen silta	15
4.3 Käytettävä voima-anturi	16
4.4 Shunttikalibraatio	16
4.5 Käytettävä paineanturi	17
5 ANTURIN KIINNITTÄMINEN AINEENKOETUSKONEESEEN	18

6 MITTAVAHVISTIN	21
6.1 HBM MGCplus	22
6.2 Catman 4.5	23
7 MITTAUKSET	25
7.1 Mittausten tavoite	25
7.2 Mittausten aloittaminen	26
7.3 Mittausten suorittaminen	27
8 TULOKSET	30
8.1 Tavoite	30
8.2 Mittausten valmistelu	30
8.3 Mittaukset	30
8.4 Regressioanalyysi	31
8.5 Johtopäätös	31
9 KEHITYSMAHDOLLISUUDET	32
LÄHTEET	33
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Yhdessä Tampereen ammattikorkeakoulun koneosaston laboratorioista on ollut jo vuosia käytössä saksalaisvalmisteinen aineenkoetuskone. Wolpert GmbH:n valmistamaa konetta käytetään etenkin ensimmäisen vuosikurssin oppilastöinä tehtävissä materiaalitekniikan laboraatioissa. Tärkein tehtävistä töistä on ehdottomasti vetokoe; siitä yhtenä tuloksena saatu materiaalin myötöraja on insinöörin tärkein lähtökohta rakenteiden suunnittelussa. Vetokokeen aikana aineenkoetuskoneeseen liitetty piirturi piirtää voima-mitta-muutospiirrosta, ja koneen mittaritaulu näyttää käytettävää voimaa. Tämän mittaritaulun toiminta perustuu järjestelmässä käytettävään öljynpaineeseen, eikä sen tarkkuudesta varsinaisesti käytetyn voiman kuvaajana ja eri voimien vaikutuksen alaisena ole voitu olla täysin varmoja. Järjestelmän öljynpainetta tarkkailemaan oli jo etukäteen asennettu paineanturi. Tässä tutkintotyössä on tarkoitus tutkia tämän paineanturin ja työssä koneeseen väliaikaisesti liitettävän voima-anturin avulla olisiko voimannäyttö mahdollista saada siirrettyä tietokoneelle. Tietokoneelta tämä tieto saataisiin huomattavasti mekaanista mittaritaulua tarkemmin.

2 AINEENKOETUSKONEEN TOIMINTAPERIAATE

Aineenkoetuskonetta (kuva 1) käyttää koneikko, jonka sähkökäyttöinen hydraulipumppu paineistaa järjestelmässä käytettävän öljyn. Öljyllä käytetään aineenkoetuskoneen hydraulista sylinteriä. Pumpun tehoa säätelemällä saadaan sylinterissä aikaan tarvittava veto tai puristus. Periaatekuva laitteen toiminnasta on liitteessä 1. Yleisimmin koneella testataan materiaalien ominaisuuksia vetämällä poikki standardisoituja mittasauvoja, mutta myös hieman monimutkaisempia kappaleita on mahdollista testata. Koneeseen kuuluu olennaisena osana mittaritaulu, josta voidaan lukea kokeessa käytettyjä voiman arvoja. Mittaritaulun lukema saadaan järjestelmän öljynpaineesta, ja sen tarkkuuden tutkiminen olikin yksi tämän tutkintotyön tärkeimmistä lähtökohdista.



Kuva 1 Wolpert GmbH:n 1962 valmistama aineenkoetuskone

3 VETOKOE

Vetokoe on tärkein ja käytetyin aineenkoetusmenetelmä. Vetokokeessa käytettävä vetosauva sijoitetaan koneen vetopäiden leukojen väliin ja sauvaa vedetään pituusakselinsa suuntaisesti, kunnes se katkeaa. Tampereen ammattikorkeakoulussa tehtävissä oppilastöissä käytetään vetokokeen koesauvojen materiaalina yleensä karkaisematonta terästä, jossa myötöraja esiintyy selvänä. Myötörajasta puhuttaessa ei tässäkään työssä käsitellä muita materiaaleja. /2/

Vetokokeen aikana tarkkaillaan vetovoimaa ja sauvan mittapituuden kasvua. Koneeseen kuuluu myös piirturi, joka piirtää voima-mitta-muutospiirrosta kokeen aikana. Piirros on toki mahdollista laatia myös myöhemmin kokeen aikana taulukoitujen mittaustulosten perusteella. Voima-mitta-muutospiirros voidaan muuttaa jännitys-venymä-piirroksiksi. Jännitys-venymä-piirroksella onkin paljon enemmän käyttöarvoa, koska käyrän muoto ei riipu sauvan koosta, vaan se kuvaa yksiselitteisesti ainoastaan aineominaisuuksia. Oppilastöissä tämä käyrä onkin ikään kuin harjoitustyön tulos; opiskelijoiden tulee päätellä siitä muun muassa vetosauvan materiaali.

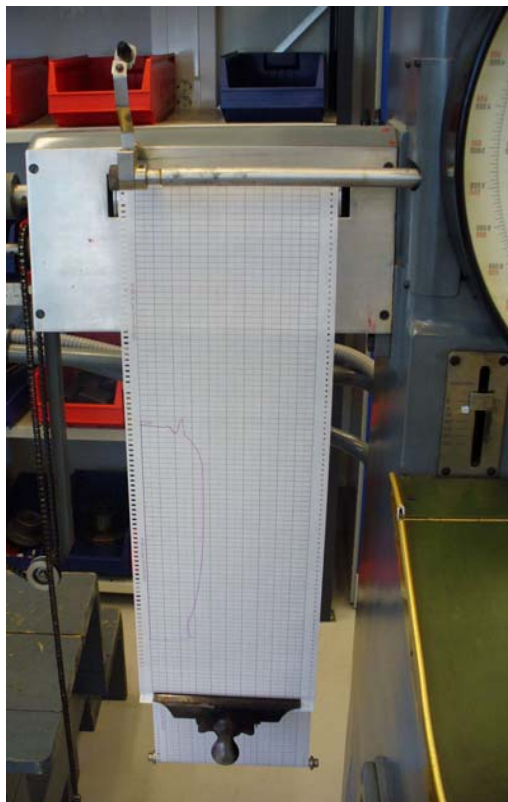
3.1 Jännitys-venymä-piirros

Tämänhetkisessä kokoonpanossa vetokokeen aikana voima-mitta-muutospiirrosta piirtää aineenkoetuskoneeseen liitetty piirturi (kuva 2). Piirroksessa vedettävän kappaleen pituuden muutos on x-akselilla ja vetävä voima y-akselilla.

Vedettävään sauvaan kohdistuva jännitys σ saadaan laskettua vetävän voiman F ja sauvan poikkileikkauksen pinta-alan A avulla:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [1]$$

Nyt asennettavaa voima-anturia olisi mahdollista käyttää niin, että ensin sitä vetämällä muodostettaisiin taulukko voima- ja paineanturien lukemien vastaavuudesta. Taulukosta saadulla voimalla ja vetosauvan halkaisijasta lasketusta sauvan poikkipinta-alasta saataisiin selville jännityksen arvot vetokokeen aikana. Lisäksi venymää mittaamaan mahdollisesti myöhemmin asetettava hienovenymäanturi mittaisi kappaleen venymää. Näillä järjestelyillä olisi mahdollista saada aikaan koneellinen jännitys-venymä-piirros. /2/



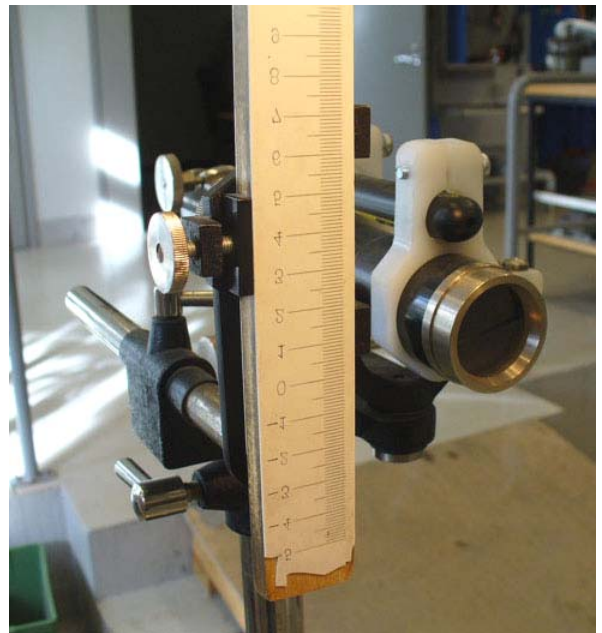
Kuva 2 Aineenkoetuskoneen piirturi ja voima-mitta-muutospiirros

3.2 Alkuvalmistelut

Vetokoe aloitetaan merkitsemällä koesauvan keskelle kaksi pistettä 100 mm:n päähän toisistaan. Sauvan venymä mitataan kokeen jälkeen näistä pisteistä. Tämän jälkeen sauva kiinnitetään vetokoneen leukoihin ja kiristetään paikoilleen.

Sauvaan kiinnitetään Martensin peililaite (kuva 3), jonka avulla sauvan venymää tarkkaillaan kokeen aikana muutaman metrin päähän sijoitetulla kaukoputkella. Kaukoputkella on tarkoitus katsoa peililaitteen kautta mittaa, joka on kiinnitetty kaukoputken etupuolelle (kuva 4). Tulevaisuudessa kappaleen venymää mittaamaan asennettava hienovenymäanturi luonnollisesti poistaisi Martensin peililaitteen tarpeen. Hienovenymäanturin käyttö helpottaisi ja nopeuttaisi mittauksia, mutta ennen kaikkea se toisi tehtyihin mittauksiin huomattavasti lisää tarkkuutta.

Kun peililaite on asetettu paikoilleen, voidaan varsinainen vetokoe aloittaa.



Kuvat 3 ja 4 Martensin peililaite kiinnitettynä koesauvaan ja venymän tarkkailuun käytettävät kaukoputki sekä peilikuvana toteutettu mitta.

3.3 Kokeen suorittaminen

Vetokoe aloitetaan kytkemällä aineenkoetuskoneeseen virta ja lisäämällä hydraulipumpun syöttöä. Kun haluttu vetonopeus on saavutettu, voidaan siirtyä tarkkailemaan mittaritaulua. Vedon aikana koetta seurataan kirjaamalla

taulukkoon tietyin välein, miten mikäkin mittaritaulusta saatu voima vastaa kaukoputken kautta mitasta saatua venymää.

3.4 Myötöraja

Kun vetokoe etenee riittävän pitkälle, tullaan materiaalin myötörajalle. Myötöraja on suunnittelijan tärkein lähtökohta lujuuslaskuissa. Myötöran alle jäävät jännitykset jäävät materiaalin kimmoalueelle, ja venymät palautuvat jännityksen poistuttua. Myötöran alle jäävä rasitus ei siis aiheuta rakenteeseen pysyvää muodonmuutosta. Myötöran sijasta lujuuslaskuissa käytetään kuitenkin yleensä 0,2-venymärajaa $R_{p0,2}$. 0,2-venymäraja ilmaisee jännitystason, jossa aineeseen syntyy 0,2 %:n pysyvä venymä. Liitteessä 1 on koneen piirturin piirtämä voima-mitta-muutospiirros, johon on merkitty alempi ja ylempi myötöraja sekä suurin jännitys. /2/

3.5 Kokeen loppu

Myötörajalle saavuttaessa koneen vetovoima laskee ensin hieman ja jatkaa sitten samalla tasolla jonkin aikaa. Ensimmäistä pysähtymiskohtaa kutsutaan yleemmäksi myötörajaksi. Myötöran jälkeen materiaali alkaa hiljalleen antamaan periksi vedolle, ja kokeen suorittaminen nopeutuu. Kappaleen venymä kasvaa nopeammin, ja yleensä viimeistään tässä vaiheessa koetta peililaite otetaan pois sauvasta. Lopulta sauvassa tapahtuu paljaalla silmälläkin havaittavaa kuroutumista. Kuroutuminen alkaa suurimman jännityksen kohdalla. Kuroutuessaan kappale ohenee kohdasta, johon kohdistuu suurin voima. Yleensä tämä kohta sijaitsee sauvan keskivaiheilla, ja tästä kohdasta sauva lopulta katkeaa. Lopuksi sauvanpuolikkaat vielä mitataan ja kirjataan kappaleen lopullinen venymä muistiin.

4 ANTURIT

Antureita käytetään kaikilla teollisuuden aloilla (liite 7) keräämään tietoa jonkin prosessin tai koneen tilasta. Anturissa on oltava jonkinlainen tuntoelin, johon mitattava ilmiö vaikuttaa. Anturit voidaan jakaa karkeasti analogisiin ja digitaalisiin. Analogiset anturit ovat vielä käytössä mm. voima-antureina, mutta joutunevat tulevaisuudessa pääosin korvatuiksi digitaalitekniikalla. Digitaaliset anturit ovat yleistyneet tuotannon mikroprosessoriohjauksen kehittyttyä, mutta yleistymistä on osaltaan tukenut myös niiden huokea hinta ja asennushelpous.

Voima-anturit jaetaan toimintaperiaatteensa mukaan kolmeen ryhmään: venymäliuska-anturit, pietsosähköiset anturit ja induktiiviset voima-anturit. Venymäliuska-antureita ja induktiivisia antureita käytetään sekä staattisten että dynaamisten voimien mittaamiseen, pietsosähköiset anturit soveltuvat dynaamisille kuormille. Voima-antureita käytetään paljon mm. punnitus-tekniikassa, mutta kehittynyt automaatio on laajentanut niiden käyttöaluetta lähes rajattomaksi. Voima-anturi, jota tässä työssä käsitellään (kuva 5), käyttää tuntoelimenään venymäliuskoja. /3/, /4/, /6/



Kuva 5 Voima-anturi Interface 1210AJ – 50kN - B

4.1 Venymäliuska-anturin toimintaperiaate

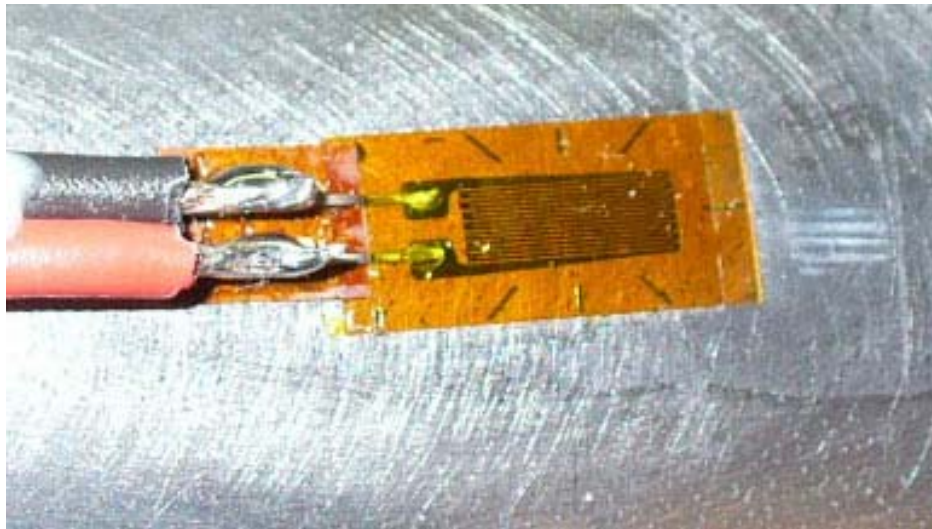
Venymäliuska muuntaa vähäisen venymän resistanssimuutokseksi. Menetelmä siis perustuu siihen, että kun ohutta metallilankaa venytetään, sen resistanssi kasvaa lineaarisesti pituuden muutokseen verrattuna. Tämä kasvu aiheutuu johtimen poikkipinnan ja pituuden muutoksesta sekä jännityksen johdosta johtimen kiderakenteeseen syntyvistä palautuvista muutoksista. Resistanssin kasvu on luonnollisesti sitä suurempi, mitä pidempi johdin on. Mahdollisimman tehokas lopputulos saadaan kiertämällä johdinlankaa edestakaisin halutun mittausuunnan mukaisesti. Lankaliuskat valmistetaan yleensä 0,015-0,03 mm paksuisesta vastuslangasta, ja liuskojen pituudet vaihtelevat muutamasta millimetristä muutamaa senttimetriin. Liuskoista saadaan signaali tavallisimmin käyttämällä siltakytkeä (kuva 6).



Kuva 6 Vastaava voima-anturi avattuna, venymäliuskat näkyvissä

Metallikalvoliuskat ovat venymäliuskoista käytetyimpiä, koska niiden valikoima erilaisiin sovelluksiin on laajin. Metallikalvoliuskat valmistetaan yleensä etsaamalla. Muutaman mikrometrin paksuinen valssattu metallikalvo

päällystetään valoherkällä aineella, valotetaan maskin läpi ja kehitetään. Tämän jälkeen valottuneet kohdat voidaan syövyttää pois, jolloin haluttu johdinkuvio jää jäljelle (kuva 7). Liuskoja on mahdollista kiinnittää sekä muovi-, lasi- että keramiikka-alustalle. Liuskoja on mahdollista valmistaa myös ohutkalvo-tekniikalla höyrystämällä ne tyhjiössä maskin läpi suoraan ohuen eristekerroksen päälle. Näin toimittaessa rakenteesta saadaan erittäin ohut. /4/, /7/

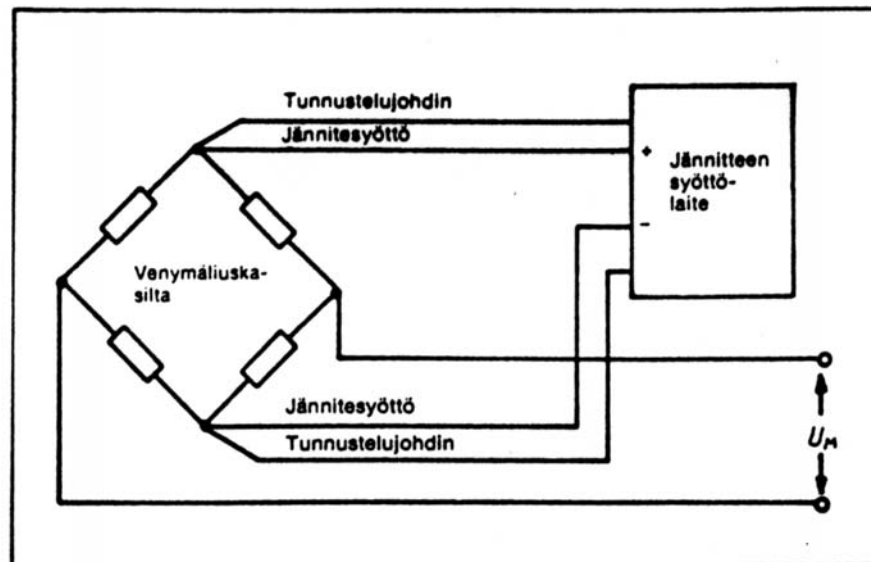


Kuva 7 Metalliputkeen kiinnitetty venymäliuska

4.2 Wheatstonen silta

Lämpötilan muutosten ja ei-haluttujen voimien vaikutusten vähentämiseksi venymäliuskat on yleensä kytketty Wheatstonen siltaan (kuva 8). Wheatstonen silta koostuu neljästä vastuksesta, jotka on asennettu kulmallaan seisovan neliön muotoiseen kuvioon. Syöttöjännitettä lisätään ylä- ja alakulmista, ja tulojännitettä mitataan jäljelle jäävistä kulmista. Jos tulojännite on nolla, silta on tasapainossa, eli siltaan ei kohdistu ulkoisia voimia. Sillan vastuksista yksi tai useampi voi olla venymäliuska, ja venymäliuska-antureissa jokaisen vastuksen paikalla on venymäliuska. Jos johonkin liuskoista kohdistuu ulkoinen voima, on silta epätasapainossa. Koska liuskoja on neljä, kohdistuu kyseinen voima luonnollisesti kaikkiin neljään liuskaan. Tämä voima aiheuttaa liuskoissa

resistanssin muutoksen, joka voidaan mitata ja näin ollen muuttaa halutuksi yksiköksi. /11/



Kuva 8 Venymäliuska-anturin jännitteensyöttö

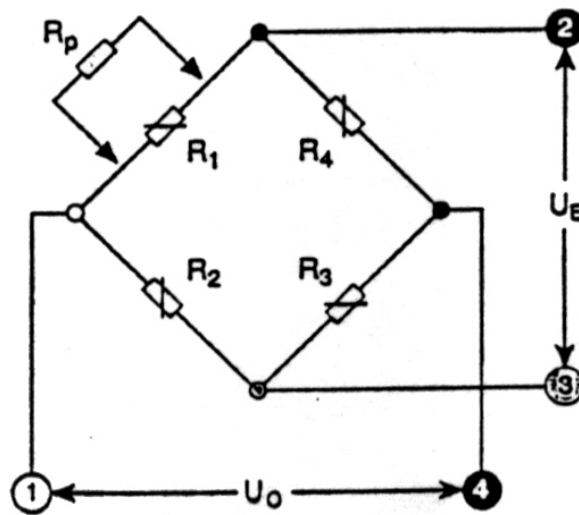
4.3 Käytettävä voima-anturi

Aineenkoetuskoneeseen liitettävä anturi on mallimerkinnältään Interface 1210AJ – 50kN – B (liite 2). Sen kestävyys on siis 50 kN, jonka se kestää molempiin suuntiin, sekä veto- että puristussuuntaan. Puristuskokeita varten anturin päällä olevaan kierteelliseen reikään kierretään lyhyt pultti (kuva 5), johon puristus näin kohdistuu (liite 3). Anturiin on lisäksi liitetty jo tehtaalla pohjalevy eli ”base” (mallimerkinnän B), jossa on keskellä vastaavanlainen M16-kokoinen kierre kuin itse anturissakin. Nämä kierteet mahdollistavat anturin kiinnittämisen sekä ylä- että alapuolelta.

4.4 Shunttikalibraatio

Venymäliuska-anturin kalibroinnin tarkastamiseksi tehtävä shunttikalibraatio on sekä äärimmäisen tehokas että yksinkertainen menetelmä. Tämän takia

shunttikalibraatiota käytetäänkin etenkin kenttäoloissa ja silloin, kun ”oikeata” kuormaa ei ole mahdollista anturiin kohdistaa. Shunttikalibraatiossa liitetään erillinen vastus anturin siltakytkeeseen, jossa se aiheuttaa potentiaalieron sillan haarojen välillä (kuva 9). Tämä potentiaaliero simuloi siltaan epätasapainoa, jonka oikeatkin voimat saisivat aikaan; siltaan siis kohdistetaan ikään kuin tunnettu massa. Tässä tapauksessa anturiin kytkettiin ohjeen mukaisesti 30 kilo-ohmin vastus, joka aikaansai noin 34 kilo-newtonin lukeman näytölle, aivan kuten kalibrointitodistuksen (liite 4) mukaan pitikin. /4/



Kuva 9 Shunttikalibraatiossa siltaan liitetään erillinen vastus R_p

4.5 Käytettävä paineanturi

Aineenkoetuskoneeseen jo valmiiksi kytketty ja kalibroitu paineanturi mittaa järjestelmän öljynpainetta. Tässä työssä paineesta puhuttaessa käytetään SI-järjestelmän ulkopuolista yksikköä baari (bar), joka on 100 000 Pa eli 10^5 N/m^2 . Kyseinen paineanturi on putkityyppinen kalvoanturi, jossa siis mitataan putken sisällä olevan kalvon venymää. Kalvo toimii kimmoalueellaan, eli sen toiminta perustuu palautuvaan muodonmuutokseen.

5 ANTURIN SOVITTAMINEN AINEENKOETUSKONEESEEN

Käytettävä voima-anturi oli tarkoitus kiinnittää aineenkoetuskoneen leukojen väliin siten, että molemmista leuoista tulevat pultit tai vastaavat tapit on kierretty anturissa ja sen pohjassa oleviin reikiin, ja ne on kiristetty paikalleen muttereilla (kuva 10).



Kuva 10 Anturi kiinnitettynä aineenkoetuskoneen leukojen väliin

Anturin kiinnittämiseen käytettäviltä kappaleilta vaadittiin seuraavia asioita:

- Kappaleen varren tuli mahtua aineenkoetuskoneen 14-milliseen kiinnitysleukaan ja siinä tuli olla tätä paksumpi kanta, jotta kappale pysyisi paikallaan.
- Kanta ei kuitenkaan saisi olla halkaisijaltaan yli 27 mm.
- Kappaleessa tuli olla vähintään 40 mm M16-kokoista kierrettä, ja sen tuli kestää vähintään sama maksimikuorma kuin anturinkin, eli 50 kN.

Alunperin kiinnitystapit oli tarkoitus valmistaa kokonaan itse metallitangosta työstämällä. Piirustusten (liite 5) tutkimisen ja nopean pohdinnan jälkeen päädyttiin kuitenkin ostamaan kiinnitystä varten kaksi kuusiokolokantaista M16-pulttia, joita modifioitaisiin hieman. Kuusiokolokanta kyllä mahtuisi koneen leukaan, mutta pultin varsi ei. Pultteja piti siis ohentaa kannanpuoleisesta päästä noin 2 mm.

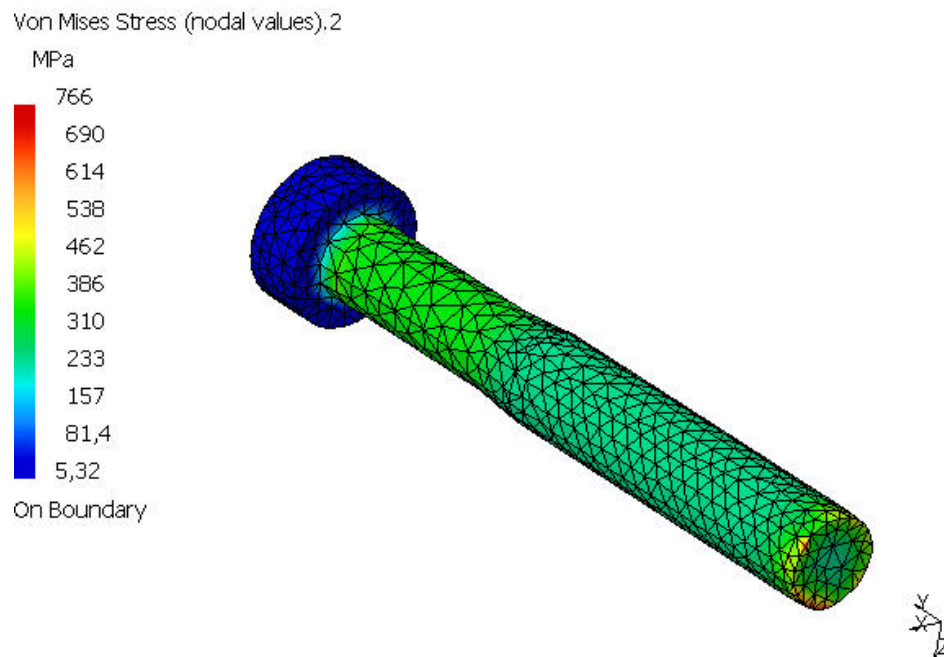
Ohennus tehtiin 40 mm:n matkalle ja se suoritettiin sorvilla koulun tiloissa. Pultteja työstettäessä tuli ottaa huomioon se, ettei ohennetun ja normaali-paksuisen kohdan saumaan tule liian terävää kulmaa. Liian terävään kulmaan syntyvä lovivaikutus voisi olla pultin keston kannalta erittäin haitallista. Sorvauksen jälkeen ohennetun ja normaalipaksuisen kohdan sauma on kuitenkin hyvin loiva (kuva 11), joten suurin lovivaikutus pultissa tulee olemaan kierteen pohjassa, ei niinkään itse työstetyssä kohdassa. /5/



Kuva 11 Alkuperäinen ja ohennettu pultti sekä kiristykseen käytettävä mutteri

Pultit ostettiin Ylöjärvellä sijaitsevasta Ruuvilinja Oy:stä, ja niiden lujuusluokka on 12,9. Liitteestä 6 löytyvän taulukon mukaan lujuusluokkaa 12,9 olevan M16-kierteisen pultin nimellinen jännitys-poikkipinta-ala on 157 mm^2 , ja sen

minimimurtokuorma on 192 kN. Tähän ei kuitenkaan voida täysin luottaa, koska pultteja siis ohennettiin niin, että ne ovat osittain vain 14 mm:n paksuisia. Liitteen 6 taulukosta selviää kuitenkin, että lujuusluokkaa 12,9 olevan M10-kierteisen pultin minimimurtokuorma on sekin lähestulkoon 1,5-kertainen vaadittuun 50 kN:iin verrattuna, joten pulttien voidaan todeta kestävän katkeamatta tarvittava kuorma ohennettunakin. Taulukosta nähdään myös se, etteivät pultit ala myöskään myötää 50 kN:n kuormalla. M10-kierteisen vertailupultin minimimyytökuorma on 62,6 kN, joten jopa se kestäisi vaaditun 50 kN myötämättä. Kuvassa 12 on modifioitu pultti, johon on Catia V5 –ohjelman avulla kohdistettu akselinsuuntainen vaadittu 50 kN:n voima. Kuvastakin voidaan todeta että pulttiin kohdistuvat voimat ovat sen keston kannalta vähäisiä, eli pultti kestää vaaditut rasitukset hyvin. /10/



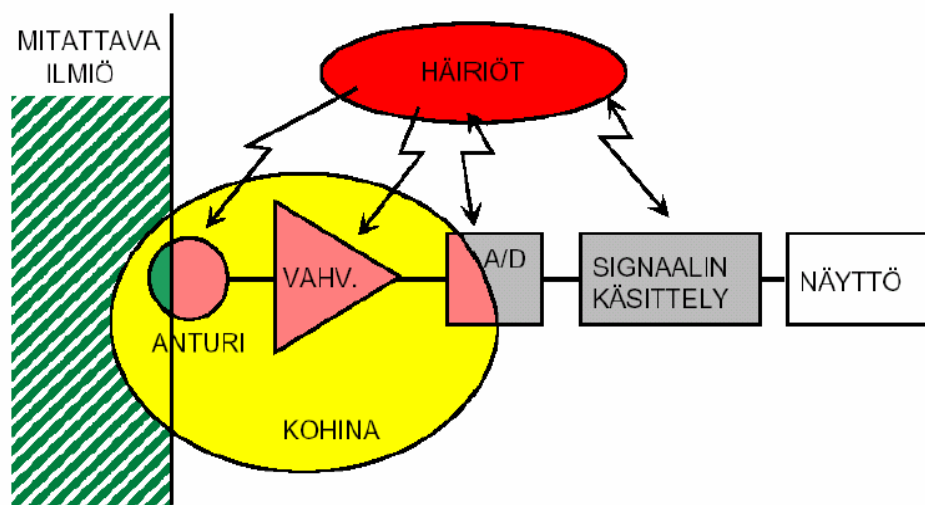
Kuva 12 Catia V5 –ohjelmalla laadittu analyysi 50 kN:n rasituksen vaikutuksesta modifioituun pulttiin

6 MITTAVAHVISTIN

Mittavahvistinta käytetään vahvistamaan anturilta saatua signaalia. Kuvan 12 mukaisesti itse anturi on tekemisissä mitattavan ilmiön kanssa, ja anturi on kytkettynä vahvistimeen. Vahvistin vahvistaa saadun sähköisen impulssin ja siirtää sen A/D-muuntimeensa. A/D-muunnin muuttaa saadun analogisen jännitteen arvon digitaaliseen muotoon. A/D-muuntimen ja näytön välissä signaalia vielä suodatetaan ja käsitellään niin, että siitä poistuvat mahdolliset häiriötaajuudet. Erilaisia anturien häiriölähteitä ovat ainakin:

- vahvistimen elektroninen kohina
- mittakaapelit, lika ja roskat antureissa ja liitoksissa
- ulkoiset radio- ja sähköhäiriöt (mm. GSM-purskeet)
- sähköverkon 50 Hz:n perustaajuus
- värinät ja äänet (voima-anturit)
- äänet ja ilmanpaineen muutokset (paineanturi).

Signaalin käsittely –vaiheessa muutetaan anturilta saatu jännite halutuksi ja helpommin ymmärrettäväksi voiman arvoksi. Näin ollen anturilta saatu jännite siirtyy vahvistimen näytölle haluttuna yksikkönä, esimerkiksi newtoneina. /6/



Kuva 12 Mitattavan ilmiön matka näytölle

6.1 HBM MGCplus

Koneosaston laboratoriossa on käytössä HBM MGCplus –merkinen mittavahvistin (kuva 13).



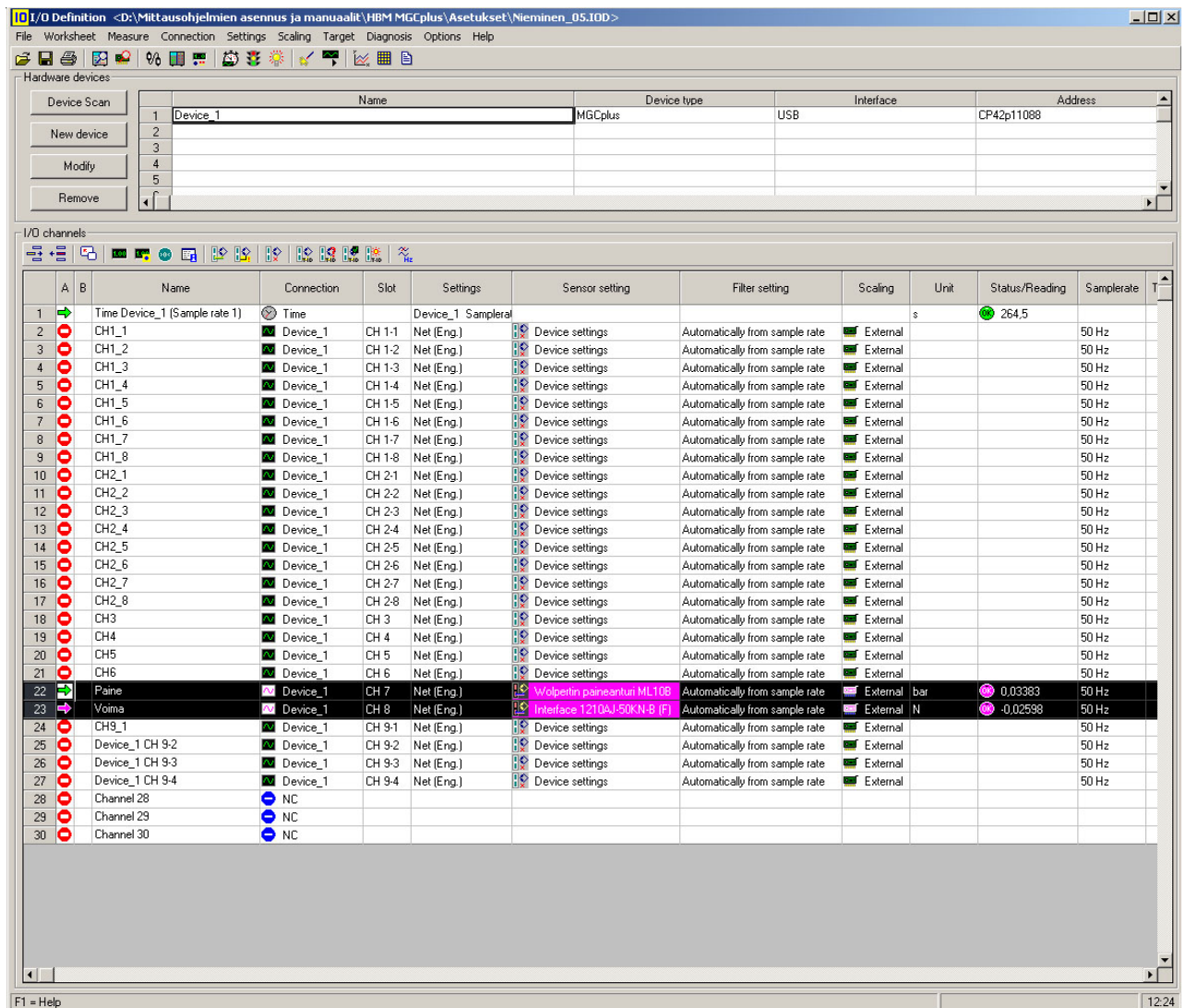
Kuva 13 HBM MGCplus –mittavahvistin

Vahvistin koostuu tietokoneen tapaan virtalähteestä, emolevystä, suorittimesta, korttipaikoista ja näitä yhdistävästä väylästä, pienimuotoisesta näppäimistöä sekä näyttöruudusta. Vahvistimessa on 16 korttipaikkaa, ja jokaiseen korttiin on mahdollista liittää vähintään yksi anturi tai vastaava mittalaite. Tätä työtä tehdessä kytkettynä oli kuitenkin vain tarvittavat voima-anturi ja paineanturi.

Mittavahvistin käy käynnistyksensä aikana läpi kaikki korttipaikkansa. Tällöin se tunnistaa kaikki aktiiviset kanavat ja alkaa vastaanottaa tietoa näistä kanavista. Kanava on aktiivinen, jos siinä olevaan korttiin on kytkettynä anturi tai vastaava mittalaite. Mittavahvistin on lisäksi kytkettynä kannettavaan tietokoneeseen, jolla pystytään myös käyttämään vahvistinta. Vahvistin toimisi toki omillaankin, mutta tietokoneen suurempi näyttö ja monipuolisempi näppäimistö helpottavat työskentelyä huomattavasti.

6.2 Catman 4.5

Tietokoneen ja mittavahvistimen välisen toiminnan mahdollistaa tietokoneeseen asennettu Catman 4.5 –ohjelma. Catman on Windows-pohjainen ja helppokäyttöinen ohjelma, jota käytetään yleisesti HBM:n vahvistimien ohessa. Sen avulla erilaisista mittauslaitteista saatua dataa voidaan käsitellä joko mittauksen aikana tai sen jälkeen. Kuvassa 14 näkyy kuvakaappaus ohjelman I/O Definition -perustilasta. Ohjelmassa on mahdollisuus tallentaa tehdyn projektin asetukset, joten esimerkiksi kahden tässä projektissa käsitellyn anturin asetukset ovat valmiina tietokoneen kovalevyllä, nimellä nieminen_05.iod.



Kuva 14 Catman 4.5 –ohjelma, käytettävät anturit kytketty kanaviin seitsemän ja kahdeksan

Kyseisen projektitiedoston avaaminen tuo valmiiksi tallennetut anturit ja niiden asetukset ohjelman tietokannasta niille määritetyille paikoille. Kuvassa ohjelma on tunnistanut käytettävänä oleviksi kanaviksi kanavat 7 (paine) ja 8 (voima). Sensor setting –sarakeesta voidaan lukea anturille annettu nimi. Unit-sarakkeessa näkyy käytetty yksikkö, ja Status/Reading –sarakeessa näkyvät tunnistamisen hetkellä antureihin vaikuttaneet paineen ja voiman arvot. Nämä arvot saadaan myös näkymään jatkuvina, eli ruudulle päivittyy tieto anturin tilasta reaaliaikaisena.

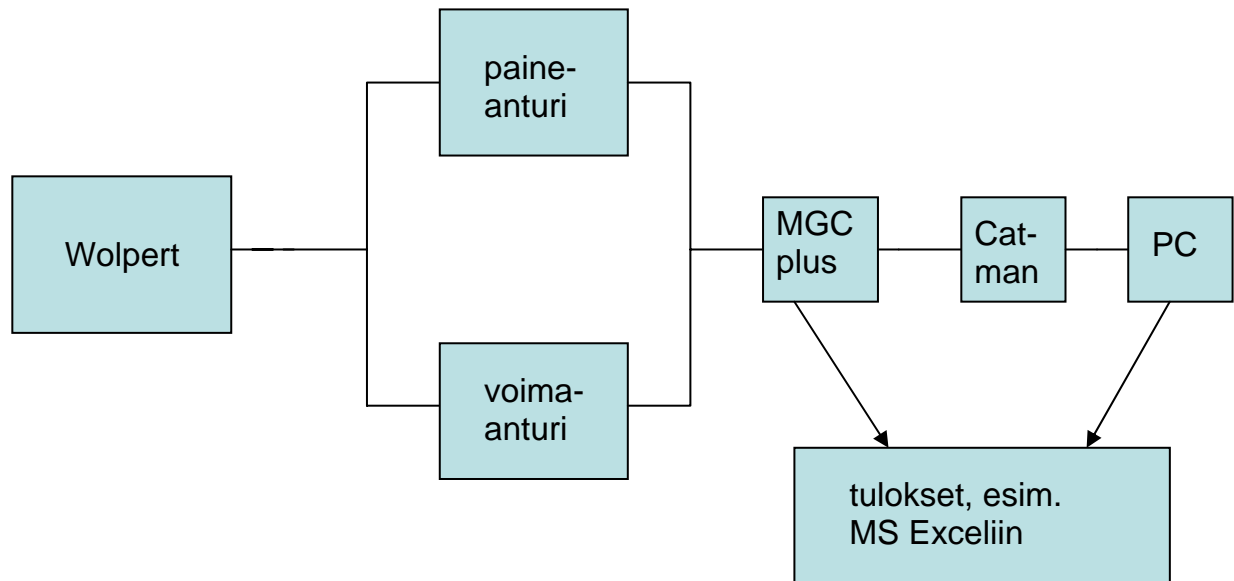
Ohjelma osaa vahvistimen tavoin tunnistaa aktiivisena olevat kanavat, mutta tieto siitä, mitä varsinaisesti mitataan, tulee antaa ohjelmalle joko tietokannasta lataamalla tai käsin mittalaitteiden asetuksia säätämällä. Esimerkiksi pienemmän voima-anturin voisi kytkeä nykyisen paineanturin paikalle ja ohjelma tunnistaisi sen, mutta anturin tyyppi ja mitattava yksikkö tulisi nimetä manuaalisesti. Ohjelman tietokantaan on mahdollista syöttää eri anturien tietoja niin paljon kuin vain on tarpeellista, ja laaja tietokanta helpottaa ja nopeuttaa ohjelman käyttöä ja mittausten suorittamista huomattavasti.

7 MITTAUKSET

Mittaukset suunniteltiin tehtäväksi siten, että voima-anturia vedetään aineen-koetuskoneella kolme kertaa nollasta neljän tuhannen kilon suuruiseen voimaan asti. Kaavalla 2 saadaan laskettua kyseinen voima newtoneina:

$$F = m * a \quad [2]$$

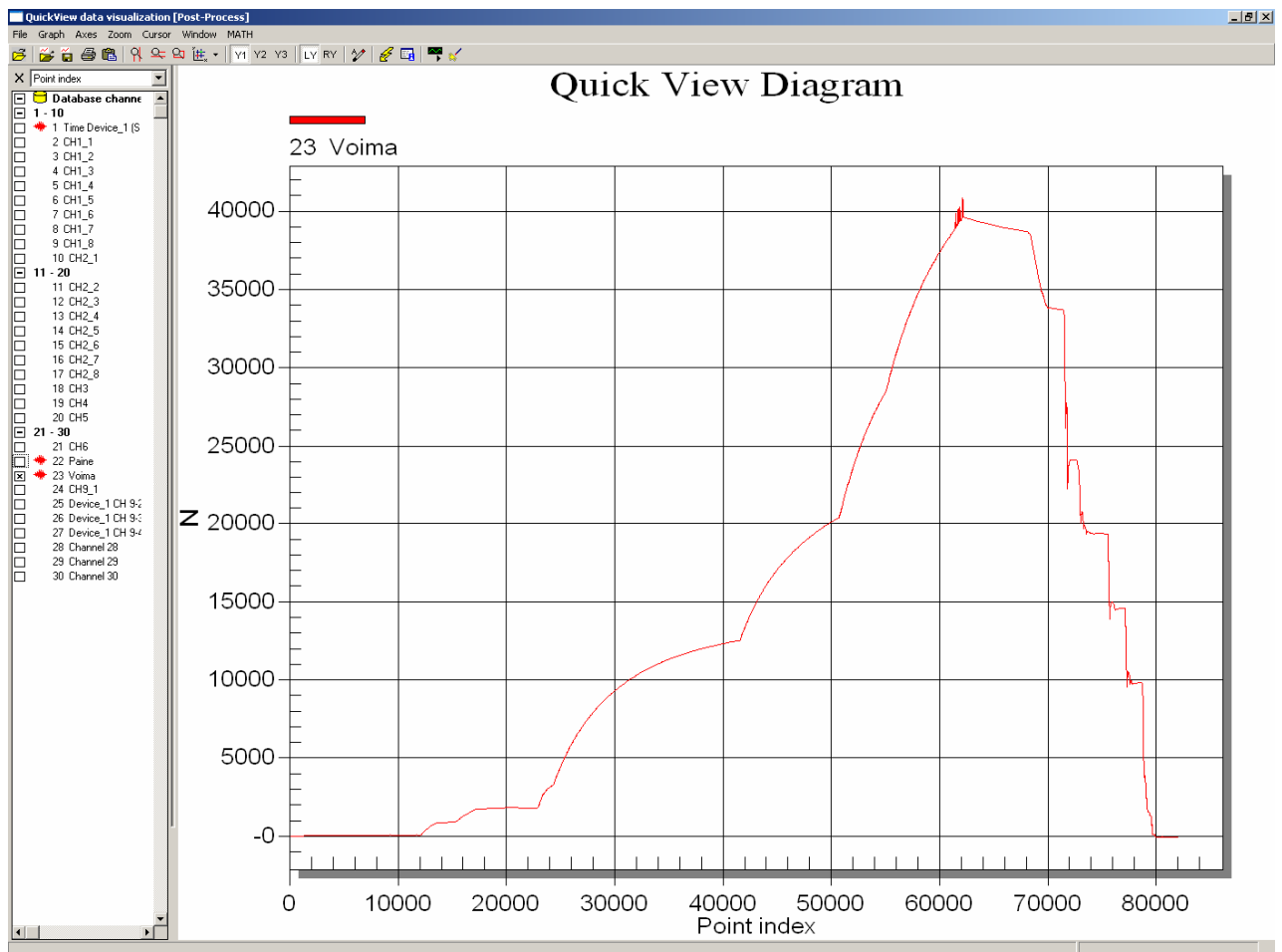
Kaavasta laskemalla $4000 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 39240 \text{ N}$, eli neljää tuhatta kiloa vastaa noin 39,2 kN. Jokainen veto tehtiin eri näytteenottotaajuuksilla: ensimmäinen 2 Hz:n, toinen 10 Hz:n ja kolmas 50 Hz:n taajuudella. Näin toimimalla pyrittiin saamaan pieniä eroavaisuuksia mittausten välille. Koko mittausjärjestelyitä kuvaava periaatekuva on kuvassa 15.



Kuva 15 Mittausjärjestelyiden periaatekuva

7.1 Mittausten tavoite

Kolmesta suoritettavasta vedosta Catman-ohjelman Data Logger –toiminto piirsi vedon aikana kuvaajaa (kuva 16). Kuvaajia tuli yhteensä kuusi, kustakin kolmesta vedosta paineelle ja voimalle omansa. Kuvaajissa paine ja voima ovat y-akselilla, ja käytetyn taajuuden ja mittausajan kautta laskettu datapiste x-akselilla. Jatkossa tällä näytteenottoyksiköllä ei ole sen ajasta riippuvuuden takia enää käyttöä.



Kuva 16 Ensimmäisestä vedosta piirretty voiman kuvaaja

Näistä kuvaajista saadut paineen ja voiman arvot saatiin vietyä Catman-ohjelmasta Microsoft Exceliin. Arvoja verrattiin Excelissä toisiinsa, ja niistä piirrettiin voima-paine-piirros. Mitä tasaisemmin voima ja paine kasvaisivat toisiinsa nähden, sitä lineaarisempi niiden suhdetta kuvaava suora olisi.

7.2 Mittausten aloittaminen

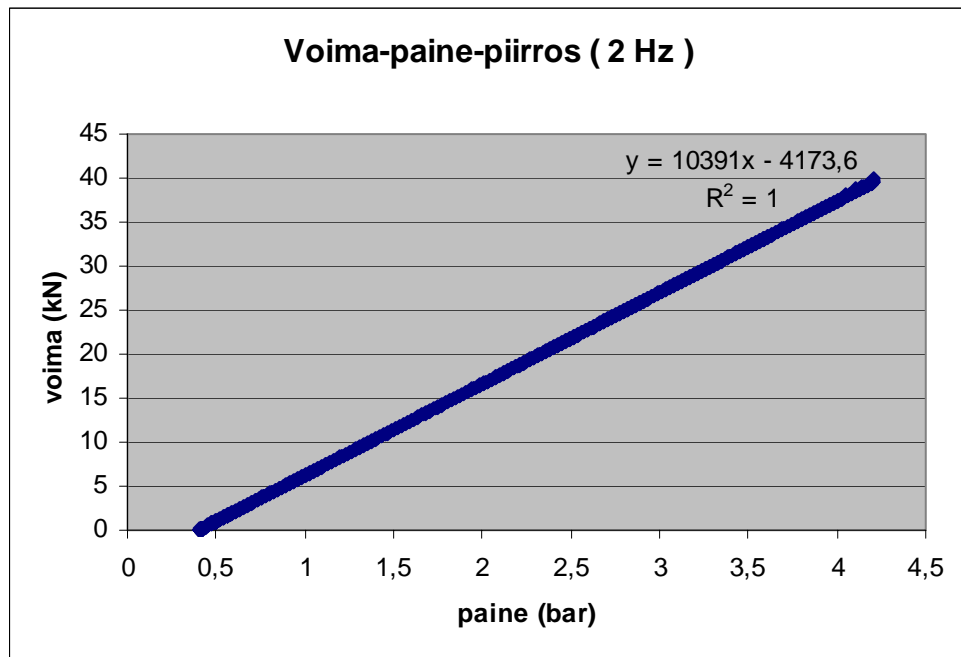
Mittaukset aloitettiin kiinnittämällä voima-anturi aineenkoetuskoneen leukojen väliin. Tämän jälkeen sekä voima-anturi että valmiiksi koneeseen kiinnitetty paineanturi kytkettiin kiinni mittavahvistimeen, kanaviin 7 ja 8. Vahvistimeen kytkettiin virta, ja sen tunnistettua aktiiviset kanavat tutkittiin vahvistimen antureille lepotilassa näyttämiä arvoja. Sekä voima- että paineanturin arvot

poikkesivat jonkin verran nollasta, mutta etenkin voima-anturi on niin herkkä siihen vaikuttaville ulkoisille häiriöille, että pieni eroavaisuus halutusta nollakohdasta voitiin hyväksyä. Esimerkiksi anturin oma paino vaikuttaa tulokseen; anturi pitäisi saada kellumaan tyhjiössä, jotta sen oman painon vaikutus saataisiin poistettua. Myös anturin kiinnitys kahdella pultilla sen ylä- ja alapuolilta vaikuttaa anturin näyttämään. Kun anturit oli kytketty ja niiden näyttämät arvot tasaantuneet nollan tuntumaan, määrättiin Catman-ohjelman avulla niille uusi nollakohta. Ohjelman avulla on mahdollista määrätä antureille nollakohta vaikka rasituksen alaisena, joten pienet ennen nollausta vaikuttaneet rasitukset saatiin poistettua.

7.3 Mittausten suorittaminen

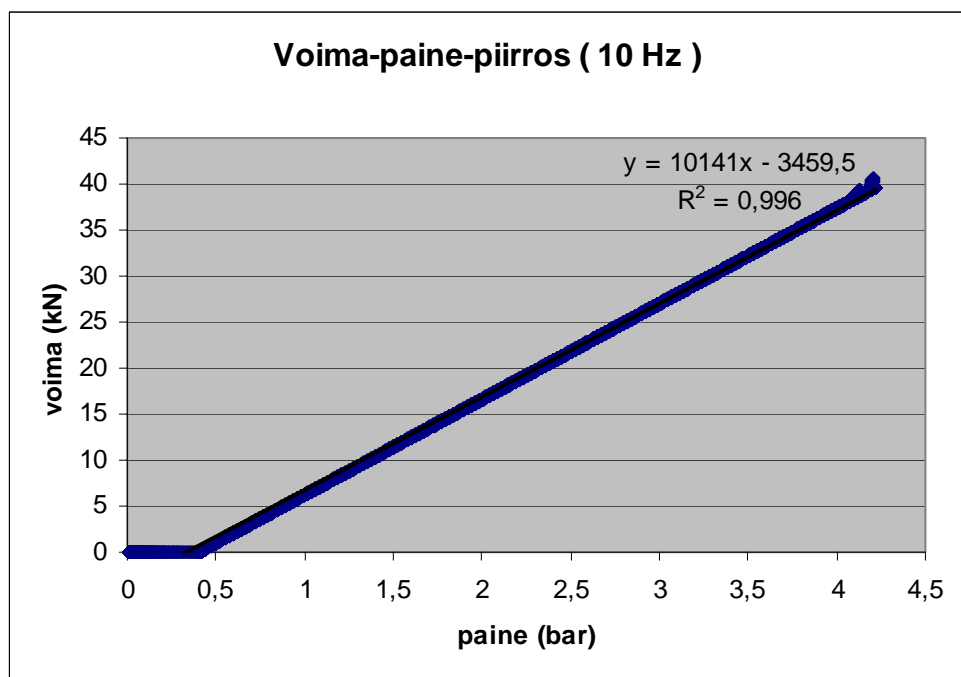
Mittauksista piirrettiin Microsoft Excelillä pistekaaviot. Kaaviot siis koostuvat pisteistä, eivätkä yhtenäisestä viivasta kuten kuvista voisi kuvitella. Tämä harha johtuu siitä, että näytteitä tuli joka taajuudella niin paljon, että pisteet muodostavat melko yhtenäisen kuvion.

Ensimmäiseksi näytteenottotaajuudeksi valittiin 2 Hz. Ohjelma siis tallensi kokeen aikana anturien arvoja kaksi kertaa sekunnissa. Anturia vedettiin mainittuun noin 40 kN:iin asti. Mittauksia tuli 2 Hz:n näytteenottotaajuudella noin 1600 kappaletta. Ensimmäisestä mittauksesta piirretty pistekaavio on kuvassa 17.



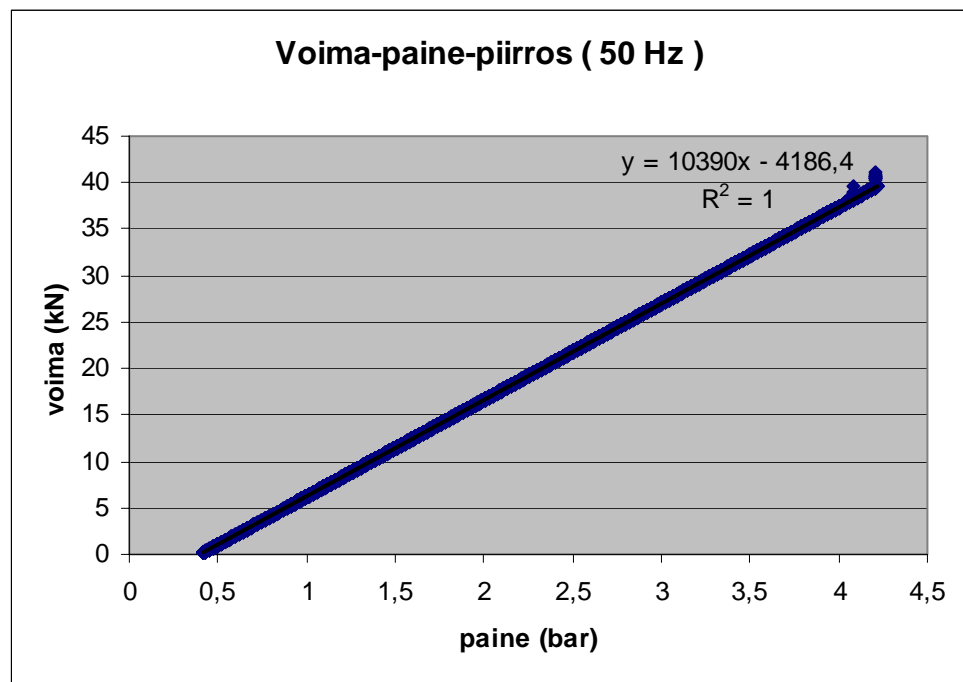
Kuva 17 Ensimmäisen vedon arvoista piirretty kuvaaja

Toinen veto tehtiin 10 Hz:n näytteenottotaajuudella. Mittauspisteitä toiseen mittaukseen tuli noin 2950 kappaletta. Toista mittausta kuvaava pistekaavio on kuvassa 18.



Kuva 18 Toisen vedon arvoista piirretty kuvaaja

Kolmas veto suoritettiin 50 Hz:n näytteenottotaajuudella, joten näytteitä tuli huomattavasti muita kertoja enemmän, lähes 12 000 kappaletta. Suuren kappalemäärän vaikutus jäi kuitenkin vähäiseksi. Kolmannesta mittauksesta piirretty pistekaavio on kuvassa 19.



Kuva 19 Kolmannen vedon arvoista piirretty kuvaaja

Kuvissa näkyvät pienet heilahdukset aivan maksimivoiman kohdalla johtuvat aineenkoetuskoneen voiman rajoittimesta. Vedoissa rajoitin asetettiin haluttuun neljään tuhanteen kiloon. Vedon pysähtyessä tälle rajalle kone ikään kuin täryttää anturia hieman, ja näistä värinäisistä johtuvat kuvissa näkyvät poikkeamat suorasta. Samat ”häiriöt” maksimivoiman kohdalla voidaan todeta myös Catman-ohjelman Data Logger -työkalun piirtämästä kuvasta 16.

8 TULOKSET

8.1 Tavoite

Työn tarkoituksena oli tutkia, pystytäänkö koneen mekaanisesti toimivan mittaritaulun näyttämään luottamaan eri voiman arvoilla. Lisäksi oli tarkoitus saada aikaan laskentakaava, joka laskisi kokeessa käytetyn voiman pelkästään kiinteästi kiinnitetyn paineanturin antamien lukemien avulla. Tämä mahdollistaisi arvojen siirtämisen tietokoneelle ja näin ollen niiden erittäin tarkan käytön, vaikkei mittaritaulun käytöstä ollutkaan tarkoitus luopua kokonaan.

8.2 Mittausten valmistelu

Mittausten mahdollistamiseksi käytetylle voima-anturille piti suunnitella kiinnitys aineenkoetuskoneen leukojen väliin. Kiinnitys toteutettiin modifioiduilla M16-kokoisilla ja kuusiokolokantaisilla pulteilla. Pultteja ohennettiin kannanpuoleisesta päästä noin neljäkymmenen millimetrin matkalta kaksi millimetriä. Lisäksi kiinnityksessä käytettiin anturin paikoilleen kiristämiseen kahta mutteria. Pulttien kesto varmistettiin Catia V5 –ohjelmalla tehdyllä rasitusanalyysillä.

8.3 Mittaukset

Kolmesta suoritetusta koemittauksesta saatiin Catman-ohjelman Data Logger – työkalulla kuusi voimaa ja painetta kuvaajaa käyrää, joiden lähtöarvot siirrettiin Microsoft Excel -ohjelmaan. Excelissä nämä eri näytteenottotajuuksilla suoritettujen mittausten paineen ja voiman arvot suhteutettiin toisiinsa ja niistä piirrettiin yhteensä kolme kuvaajaa. Excelissä kuvaajiin lisättiin trendiviiva ja

niille tehtiin regressioanalyysi. Regressioanalyysin avulla oli tarkoitus tutkia toisen tutkittavan suureen, voiman, suhdetta toiseen, paineeseen.

8.4 Regressioanalyysi

Regressioanalyysistä saatiin tulokseksi regressiomallia selittävä R^2 -luku. Tämä luku vaihtelee nollan ja yhden välillä, ja se kuvastaa sitä, kuinka hyvin toisen muuttujan vaihtelu pystyy selittämään analyysin toisen muuttujan vaihtelun. Jos tuloksena on nollaa lähellä oleva luku, kertoo analyysi että muuttujat eivät selitä toistensa vaihtelua juuri lainkaan, mutta jos tuloksena oleva luku on lähellä lukua yksi, selittävät muuttujat toisiaan hyvin paljon.

Piirtämällä Excelillä pistekaaviot kolmesta suoritetusta mittauksesta sekä voiman että paineen arvoilla saatiin kuvaajiksi lähestulkoon täydellisiä suoria. Molemmat analysoitavat suuret siis kasvoivat ainakin silmämääräisesti hyvin samalla tavoin koko mittauksen ajan. Suorille suoritettuna regressioanalyysin mukaan kolmen mittauksen R^2 -lukujen keskiarvoksi saatiin 0,998667 (kuva 20). Tämä luku paljastaa silmämääräisesti tehdyn arvion oikeellisuuden, eli suureiden voidaan sanoa kasvaneen identtisesti koko mittauksen ajan. /12/

8.5 Johtopäätös

Regressioanalyysin tuloksena saatu hyvin lähelle yhtä yltävä luku kertoo sen, että paine ja voima kasvoivat mittauksen aikana identtisesti. Tästä taas voidaan tehdä johtopäätös siitä, että pelkkää painetta tarkkailemalla on mahdollista saada laskettua myös käytetty voima. Kolmen koemittauksen tuloksista saatujen suorien yhtälöistä laskettu keskiarvoyhtälö on $y = 10307,33x - 3939,833$ (kuva 20). Tästä suoran yhtälöstä saadut kulmakerroin 10307,33 sekä vakiotekijä $-3939,833$ tallennettiin Catman-ohjelman tietokantaan. Kaavassa painetta kuvaa muuttuja x ja voimaa y .

	x	y	R ²
	10391	-4173,6	1
	10141	-3459,5	0,996
	10390	-4186,4	1
keskiarvo	10307,33	-3939,83	0,998667

Kuva 20 Keskiarvosuoran yhtälö ja R^2 -lukujen keskiarvo

Jatkossa Catman-ohjelma siis kertoo vahvistimen kautta tulleen ja paineen yksiköksi muutetun arvon (kaavan $x:n$) keskiarvosuoran kulmakertoimella 10307,33 ja vähentää siitä vakiotekijän 3939,83. Näin ollen mittauksen aikana saadaan vastaisuudessa tietokoneen kuvaruudulle paineesta laskettu voiman arvo, joka on huomattavasti tarkempi kuin aineenkoetuskoneen mekaanisessa mittaritaulussa.

Yhteenvedona voidaan siis sanoa, että tässä tutkintotyössä päästiin sen tavoitteeseen; jatkossa mittavahvistimeen kytkettyä kannettavaa tietokonetta voidaan käyttää aineenkoetuskoneen voiman näyttölaitteena pelkän paineanturin ollessa kytkettynä.

9 KEHITYSMAHDOLLISUUDET

Mietittäessä kyseisen järjestelmän tulevaisuudennäkymiä mieleen tulee jo luvussa 3.1 viitattu jonkinlaisen hienovenymä- tai siirtymäanturin asennus. Tämän anturin avulla järjestelmästä saataisiin ulos jännitys-venymä-piirros. Jännityksen laskemiseksi Catman-ohjelmaan olisi helppoa tehdä pienimuotoinen ohjelma, joka laskisi vetosauvan poikkileikkauksen pinta-alan käyttäjän syöttäessä käytetyn sauvan halkaisijan koneelle. Tästä pinta-alasta ja nykyisin paineanturilta saadusta voimasta tietokoneohjelma voisi kaavan [1] mukaisesti laskea sauvan jännitys eri voiman arvoilla. Suhteuttamalla laskusta saatu jännitys hienovenymäanturilta saatuun venymään olisi järjestelmän tietokone mahdollista ohjelmoida piirtämään jännitys-venymä-piirrosta.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

1 Aumala, Olli, Mittaustekniikan perusteet. Otatieto Oy, Helsinki 1999. 223 s.

2 Koivisto, Kaarlo - Laitinen, Esko - Niinimäki, Matti - Tiainen, Tuomo -
Tiilikka, Pentti - Tuomikoski, Juho, Konetekniikan materiaalioppi. Edita Oyj,
Helsinki 2001. 336 s.

3 Doebelin, Ernest, Measurement systems - application and design. The
McGraw-Hill Companies 2004. 1078 s.

4 Jansson, Erik, Sääntötekniikka 2000 – Sääntö- ja mittaustekniikka. IS-PRINT,
Iisalmi 2000. 160 s.

5 Metals Handbook, Ninth Edition, Volume 8 Mechanical Testing. American
Society for Metals, 1985. 778s.

6 Kärhä, Petri, Luento 1: Anturit ja mittausvahvistimet – monisteet 2004

7 HBM Academy – seminaarikansio 2005

8 Dataq Instruments – monisteet 2004

9 National Instruments – monisteet 2003

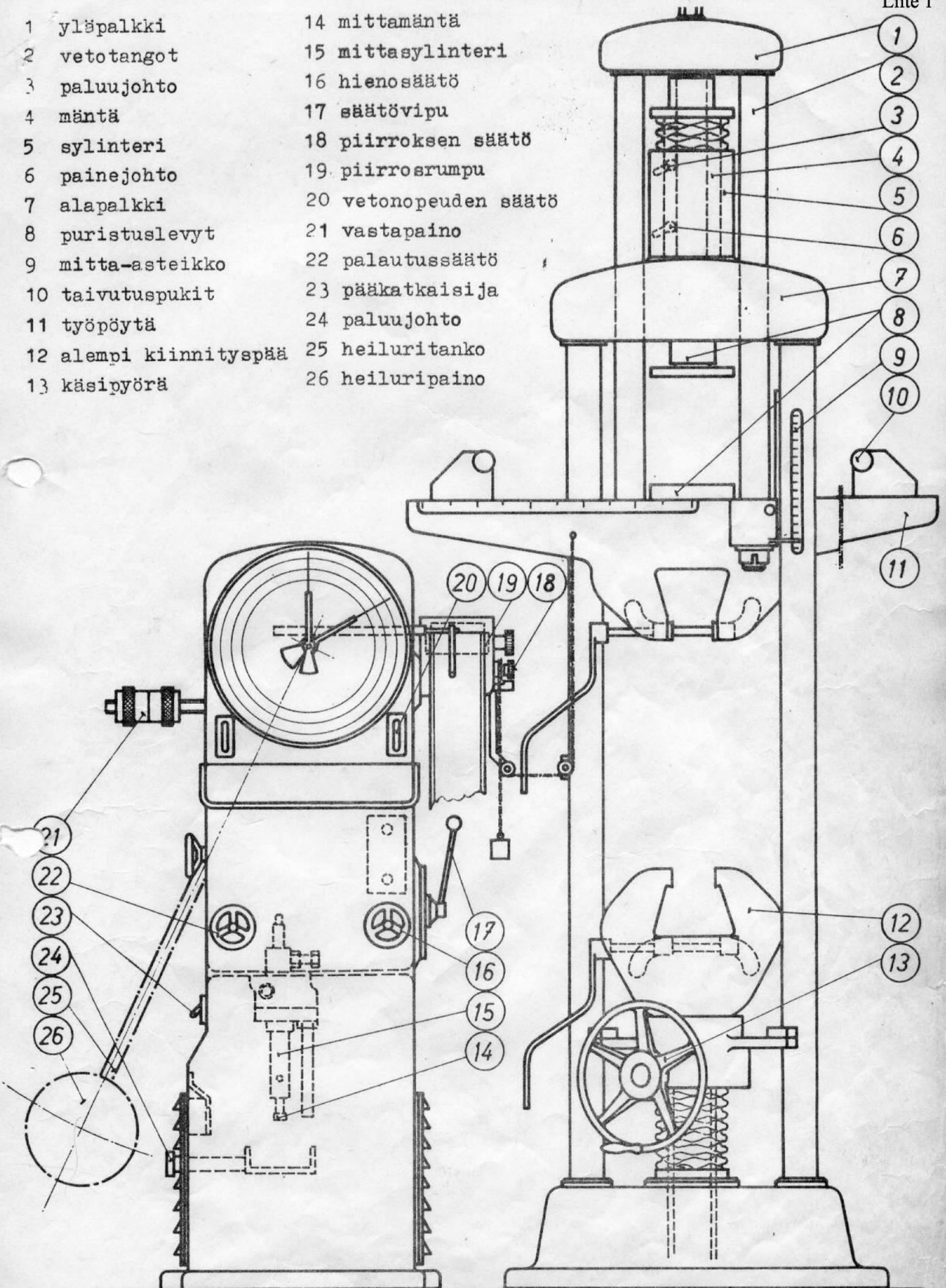
Painamattomat lähteet:

10 Pultti.com, Ruuvien minimimurtokuormat, www-sivu. [luettu 24.10.2005]
www.pultti.com/murtokuormat.html

11 Coloradon yliopisto, wheatstone silta, www-sivu. [luettu 3.11.2005]
civil.colorado.edu/courseware/struct_labs/wheatstone.html

12 Tampereen yliopisto, regressioanalyysi, www-sivu. [luettu 1.12.05]
www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/regressio/analyysi.html

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1 yläpalkki | 14 mittamäntä |
| 2 vetotangot | 15 mittasylinteri |
| 3 paluujohto | 16 hienosäätö |
| 4 mäntä | 17 säätövipu |
| 5 sylinteri | 18 piirroksen säätö |
| 6 painejohto | 19 piirrosrumpu |
| 7 alapalkki | 20 vetonopeuden säätö |
| 8 puristuslevyt | 21 vastapaino |
| 9 mitta-asteikko | 22 palautussäätö |
| 10 taivutuspukit | 23 pääkatkaisija |
| 11 työpöytä | 24 paluujohto |
| 12 alempi kiinnityspää | 25 heiluritanko |
| 13 käsipyörä | 26 heiluripaino |

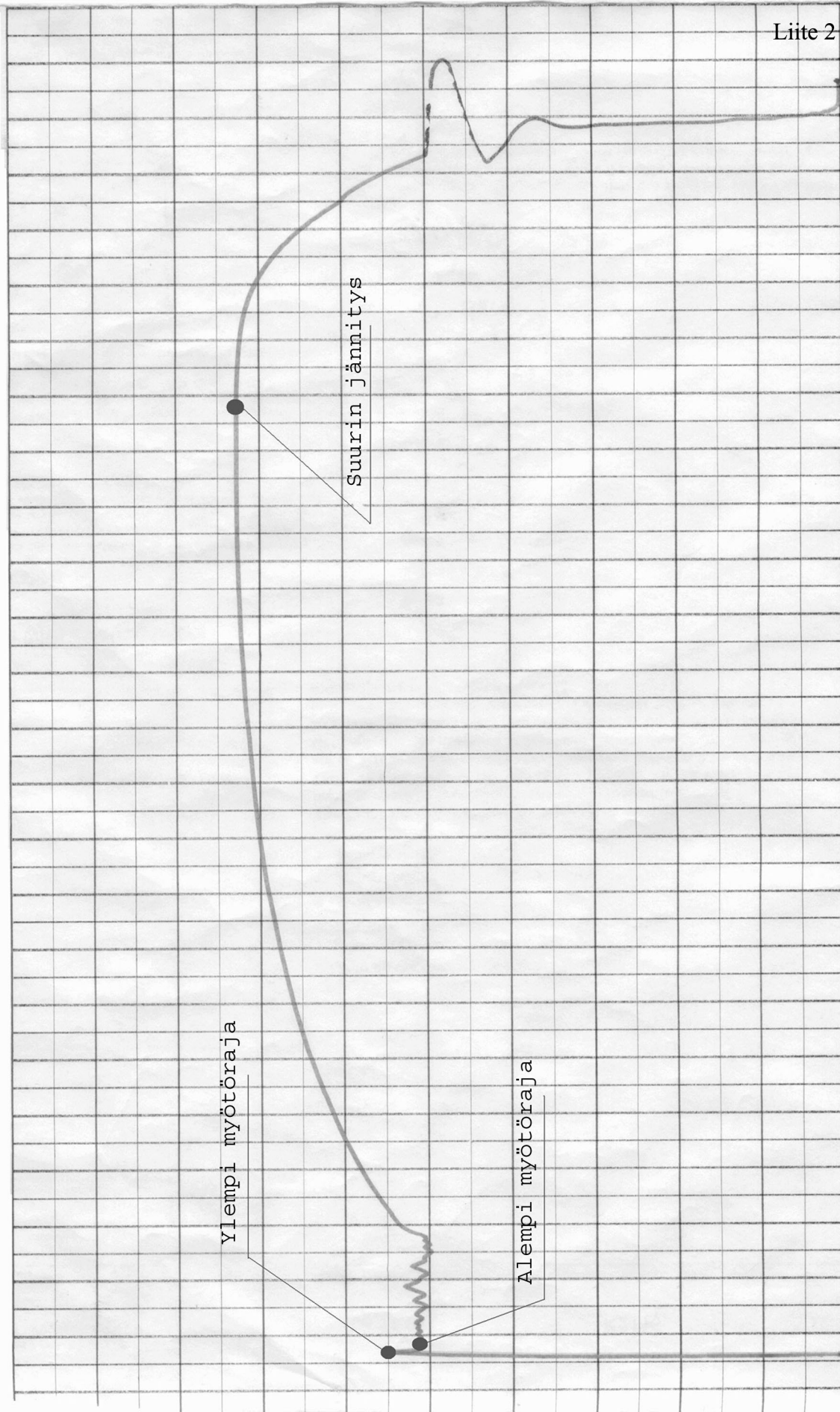


Ylempi myötöraja

Alempi myötöraja

Suurin jännitys

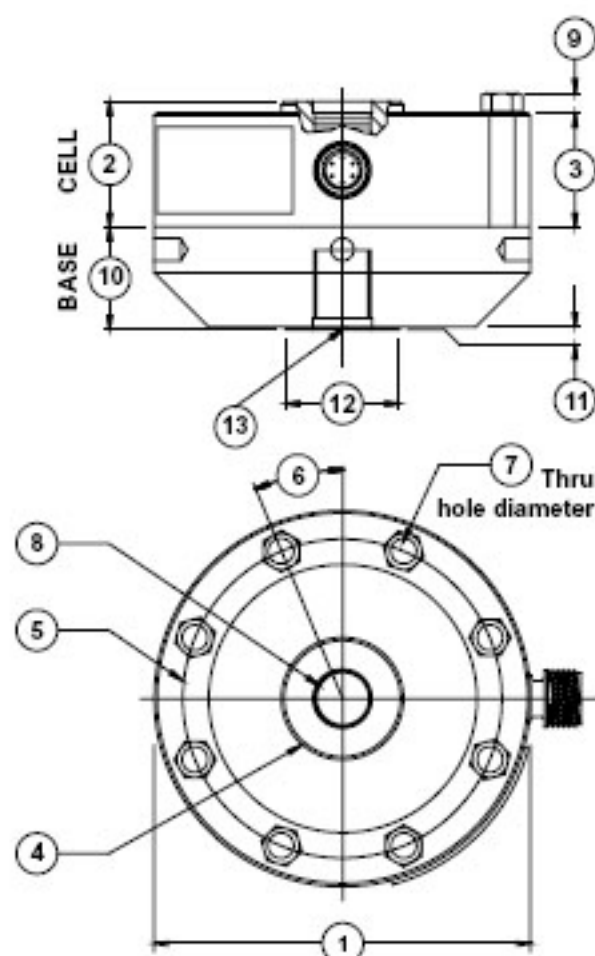
0.5x40x180 mm. U. 25 m



Model 1200 Precision Series Universal (U.S. & Metric)

Why INTERFACE 1200 series load cells are the best in class:

- Proprietary Interface temperature compensated strain gages
- Accuracy to .04%
- High output – to 4 mV/V
- Eccentric Load compensated
- .0008%/°F (.0015%/°C) temp effect on output
- Low deflection
- Shunt calibration
- Barometric compensation
- Tension and compression
- Compact size



DIMENSIONS

See Drawing	MODEL					
	1210		1220		1232	
	CAPACITY					
	U.S. (lbf)	Metric (kN)	U.S. (lbf)	Metric (kN)	U.S. (lbf)	Metric (kN)
	300, 500, 1K, 2K, 5K, 10K	1.5, 2.5 5, 10, 25, 50	25K, 50K	100, 250	100K	450
	inch	mm	inch	mm	inch	mm
①	4.13	104.8	6.06	153.9	8.00	203.2
②	1.38	34.9	1.75	44.5	2.50	63.5
③	1.25	31.7	1.63	41.4	2.25	57.2
④	1.34	34.0	2.65	67.3	3.76	95.2
⑤	3.50	88.9	5.13	130.3	6.50	165.1
⑥	22.5°	22.5°	15.0°	15.0°	11.25°	11.25°
⑦	0.28	7.10	0.41	10.4	0.53	13.5
	8 places		12 places		16 places	
⑧	5/8-18 UNF-3B	M16 X 2-4H	1 1/4-12 UNF-3B	M33 X 2-4H	1 3/4-12 UNF-3B	M42 X 2-4H
	1.12 in. deep	28.4 mm deep	1.40 in. deep	35.6 mm deep	2.15 in. deep	54.6 mm deep
⑨	0.20	5.10	0.30	7.60	0.40	10.27
⑩	1.13	28.6	1.75	44.5	2.00	50.8
⑪	0.03	0.80	0.03	0.80	0.03	0.80
⑫	1.25	31.8	2.25	57.2	3.00	76.2
⑬	5/8-18 UNF-3B	M16 X 2-4H	1 1/4-12 UNF-3B	M33 X 2-4H	1 3/4-12 UNF-3B	M42 Xx 2-4H
	.87 in. deep	22.1 mm deep	1.40 in. deep	35.6 mm deep	1.75 in. deep	44.5 mm deep

SPECIFICATIONS

PARAMETERS	MODEL			
	1210	1210	1220	1232
	CAPACITY			
U.S. Models (lbf)	300, 500, 1K, 2K	5K, 10K	25K, 50K	100K
Metric Models (kN)	1.5, 2.5, 5, 10	25, 50	100, 250	450
ACCURACY – (MAX ERROR)				
Static Error Band-% FS	± 0.04	± 0.05	± 0.05	± 0.06
Nonlinearity-% FS	± 0.04	± 0.05	± 0.05	± 0.05
Hysteresis-% FS	± 0.03	± 0.05	± 0.06	± 0.06
Nonrepeatability-% RO	± 0.01	± 0.01	± 0.01	± 0.01
Creep, in 20 min-%	± 0.025	± 0.025	± 0.025	± 0.025
Side Load Sensitivity-%	± 0.25	± 0.25	± 0.25	± 0.25
Eccentric Load Sensitivity-%/in	± 0.25	± 0.25	± 0.25	± 0.25
TEMPERATURE				
Compensated Range-°F	15 to 115	15 to 115	15 to 115	15 to 115
Compensated Range-°C	-10 to 45	-10 to 45	-10 to 45	-10 to 45
Operating Range-°F	-65 to 200	-65 to 200	-65 to 200	-65 to 200
Operating Range-°C	-55 to 90	-55 to 90	-55 to 90	-55 to 90
Effect on Zero-%RO/°F – MAX	± 0.0008	± 0.0008	± 0.0008	± 0.0008
Effect on Zero-%RO/°C – MAX	± 0.0015	± 0.0015	± 0.0015	± 0.0015
Effect on Output-%/°F – MAX	± 0.0008	± 0.0008	± 0.0008	± 0.0008
Effect on Output-%/°C – MAX	± 0.0015	± 0.0015	± 0.0015	± 0.0015
ELECTRICAL				
Rated Output-mV/V (Nominal)	2.0	4.0	4.0	4.0
Excitation Voltage-VDC – MAX	20	20	20	20
Bridge Resistance-Ohm (Nominal)	350	350	350	350
Zero Balance-% RO	± 1.0	± 1.0	± 1.0	± 1.0
Insulation Resistance-Megohm	5000	5000	5000	5000
MECHANICAL				
Safe Overload-% CAP	± 150	± 150	± 150	± 150
Deflection @ RO-inch	0.001	0.002	0.002	0.003
Deflection @ RO-mm	0.03	0.05	0.05	0.08
Optional Base-P/N (Metric)	B101 (M)	B102 (M)	B103 (M)	B112 (M)
Natural Frequency-kHz	3.9, 5.0, 6.9, 9.8	6.6, 9.4	6.5, 7.0	5.8
Weight-lb	1.5	3.3	9.5	26
Weight-kg	0.7	1.5	4.3	11.8
Connector	PC04E-10-6P	PC04E-10-6P	PC04E-10-6P	PC04E-10-6P
Calibration	T & C	T & C	T & C	T & C

OPTIONS*

Base (recommended)
 Compression overload protection
 Integral 10 ft cable
 Bayonet Connector
 Multiple bridge
 Standardized output
 Connector protection
 See Low Profile Options Catalog Page 89

ACCESSORIES*

Mating connector
 Instrumentation
 Loading hardware

* See appendix for more technical information

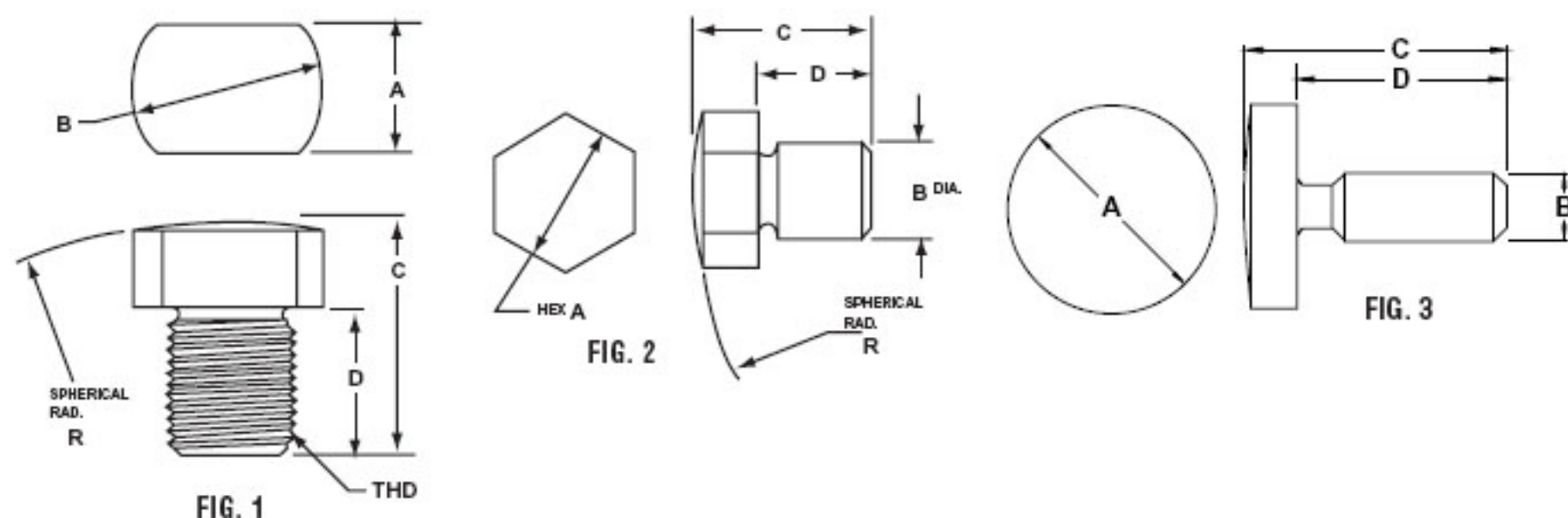
STANDARD CONFIGURATIONS

- 10 ft Integral Cable (12xxAJ-nn)
 <or> PC04E-10-6P Standard Connector (12xxAF-nn)
 <or> PT02E-10-6P Bayonet Connector (12xxACK-nn)
- Installed Base (-B suffix)



Shown with optional base

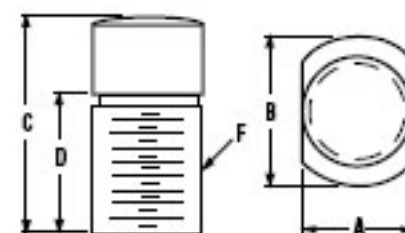
Load Buttons



LOAD BUTTONS									
MODEL	MATERIAL	THD/DIA	APPLICATION	DIMENSIONS IN INCHES					
				A	B	C	D	R	FIG
LB-106	H.T. STEEL	1/4-28	SM-10 THRU 250, SSM-50 THRU 250	7/16	1/2	5/8	1/2	2	1
LB-109	H.T. STEEL	1/2-20	SM-500, 1000 SSM-500 THRU 3000	15/16	1 1/16	1 5/16	1	4	1
LB-110	H.T. STEEL	5/8-18	SSM-5000	15/16	1 1/16	1 5/16	1	4	1
LB-101	H.T. STEEL	5/8-18	1110 & 1210-300 THRU 10K	15/16	1 1/16	1 9/32	1	4	1
LB-102	H.T. STEEL	1 1/4-12	1120 & 1220-25K, 50K	1 1/2	1 3/4	1 9/16	11/16	6	1
LB-103	H.T. STEEL	1 3/4-12	1132 & 1232-100K	2 1/8	2 1/2	3 3/4	2 1/8	12	1
LB-104	H.T. STEEL	2 3/4-8	1140 & 1240-200K	3 1/2	4	5	3 1/8	12	1
LB-111	H.T. STEEL	.395	SSB-500, 1000	3/4	.395	3/4	1/2	4	2
LB-114	H.T. STEEL	0.169	MB-All, SSB-50 thru 250	0.50	0.169	0.63	0.50	2	3
METRIC SIZES									
LB-101M	H.T. STEEL	M16x2	1110 & 1210-5kN TO 50kN	15/16	1 1/16	1 9/32	1	4	1
LB-102M	H.T. STEEL	M33x2	1120 & 1220-100kN, 250kN	1 1/2	1 3/4	1 9/16	11/16	6	1
LB-103M	H.T. STEEL	M42x2	1132 & 1232-450kN	2 1/8	2 1/2	3 3/4	2 1/8	12	1
LB-104M	H.T. STEEL	M72x2	1140 & 1240-900kN	3 1/2	4	5	3 1/8	12	1

A load button may be installed in an INTERFACE universal load cell if it is used as a compression cell with the load applied by a plate or other flat surface.

For compression applications only, an INTERFACE compression load cell should usually be specified. Compression load cells are usually smaller, less expensive and have an integral load button.



P/N	A	B	C	D	F
LB-101(M)	0.94	1.06	1.25	1.00	5/8-18 UNF-3A (M16x2)
LB-102(M)	1.25	1.75	1.56	0.69	1 1/4-12 UNF-3A (M32x2)
LB-103(M)	1.75	2.50	3.75	2.12	1 3/4-12 UNF-3A (M42x2)
LB-104(M)	2.75	4.00	5.00	3.12	2 3/4-8 UNF-3A (M72x2)

(M) suffix for metric threads

LOAD CELL CALIBRATION CERTIFICATION

Liite 5

CONDITION: FINAL
 MODEL: 1210AJ-50KN-B
 SERIAL: 181234 BRIDGE: A CAPACITY 50 kN
 PROCEDURE: C-1257 Mounting Per Interface Installation Instruction 15-5

INPUT RESISTANCE: 351.0 OHM
 ZERO BALANCE : 0.193 %RO OUTPUT RESISTANCE: 350.8 OHM

TEST CONDITIONS

TEMPERATURE: 76 °F HUMIDITY 36 % EXCITATION 10 VDC

TRACEABILITY

FORCE STANDARD STD-18 NIST #: 822/270835-04 DUE 15-SEP-06
 STANDARD INDICATOR BRD106 NIST #: 402235
 TEST INDICATOR BRD112 NIST #: 402235

SHUNT CALIBRATION

	Shunt ($\pm 0.01\%$)	Output	Straight Line Conversion	Connections*
Tension	30 Kohm		34.746 kN	-Out to -Exc
Compression	30 Kohm		34.626 kN	-Out to +Exc

*For model
are actual

connection:
pectively.

PERFORMANCE

	RATED OUTPUT	SEB OUTPUT	NONLINEARITY	HYSTERESIS		SEB
TENSION	4.18983 mV/V	4.18883 mV/V	-.038 %FS	.027 %FS	\pm	024 %FS
COMPRESSION	4.19026 mV/V	4.18960 mV/V	-.022 %FS	.019 %FS	\pm	016 %FS

STATIC ERROR BAND (SEB) - The band of maximum variations of the ascending and descending calibration points from a best straight line through zero OUTPUT. It includes the effects of NONLINEARITY, HYSTERESIS, and nonreturn to MINIMUM LOAD.

TEST LOAD APPLIED (kN)	RECORDED READINGS (mV/V)	
	Tension	Compression
0	.00000	.00000
10	.83713	-.83743
20	1.67459	1.67518
30	2.51230	2.51325
40	3.35042	3.35159
50	4.18983	4.19026
20	1.67574	1.67596
0	-.00008	.00002

Interface, Inc. certifies that all calibration measurements are traceable to NIST. Estimated uncertainty of measurements is 0.040%. Results relate to 181234 only. Do not reproduce this report except in full or with Interface written approval.

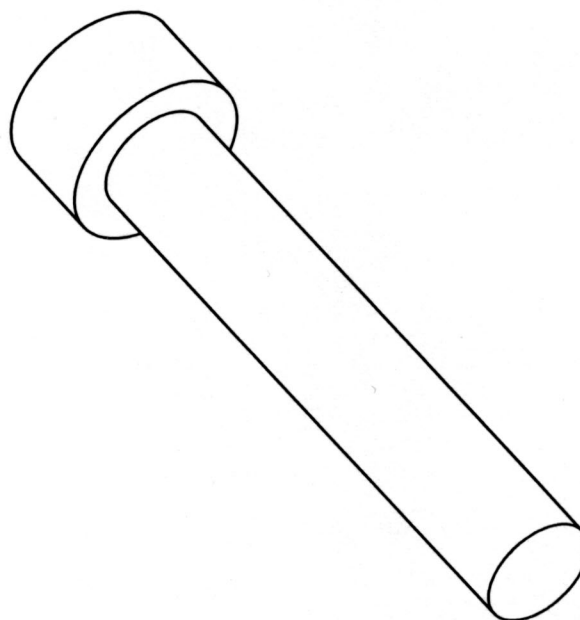
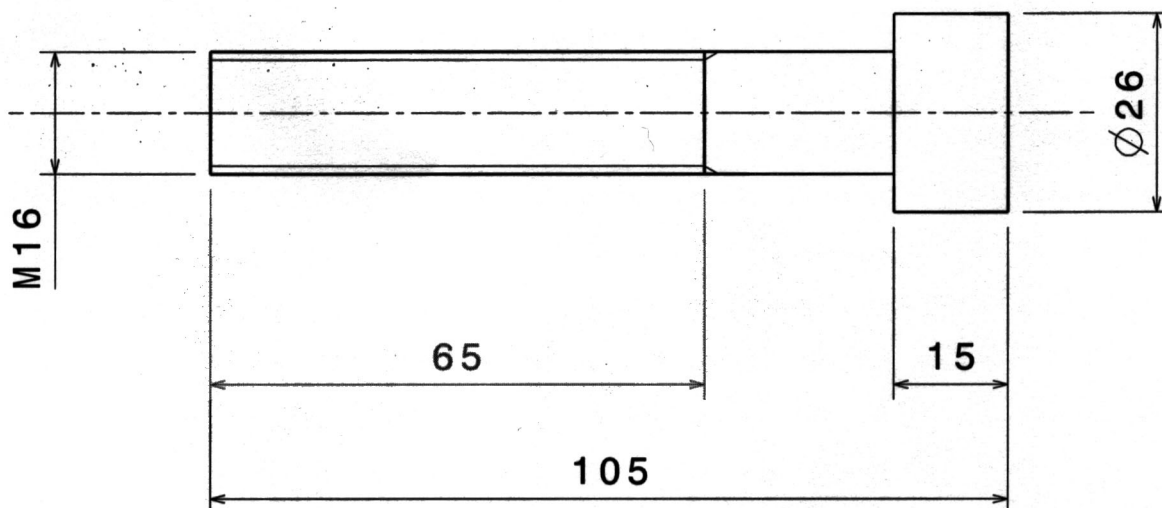
TECHNICIAN



Enrique Nieves

DATE 28-JUN-05

INTERFACE INC.
 7401 EAST BUTHERUS DRIVE • SCOTTSDALE, ARIZONA 85260 U.S.A
 TELEPHONE (480)948-5555 • FAX (480)948-1924



This drawing is our property.
It can't be reproduced
or communicated without
our written agreement.

TAMK

DRAWING TITLE

Tappi

DRAWN BY
k1juniem

DATE
14.09.2005

CHECKED BY
XXX

DATE
XXX

SIZE
A4

DRAWING NUMBER

001

REV

X

DESIGNED BY
XXX

DATE
XXX

SCALE

1:1

WEIGHT(kg)

0,00

SHEET

1/1

Ruuvien minimimurtokuormat N

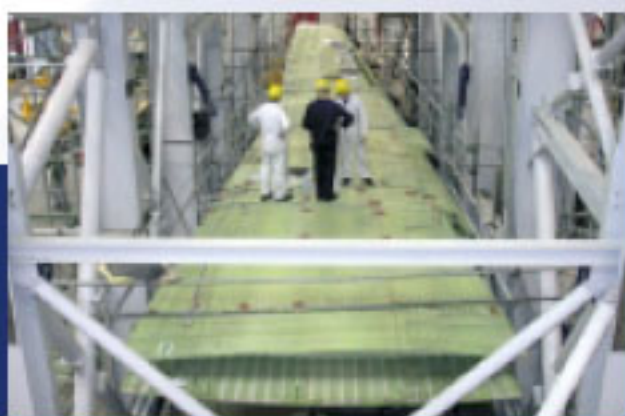
Kierre	Nimell.	Lujuusluokka									
M	jännitys-										
	poikkipinta	3,6	4,6	4,8	5,6	5,8	6,8	8,8	9,8	10,9	12,9
	mm ²	Minimi murtokuorma N									
5	14,2	4690	5680	5960	7100	7380	8520	11350	12800	14800	17300
6	20,1	6630	8040	8440	10000	10400	12100	16100	18100	20900	24500
7	28,9	9540	11600	12100	14400	15000	17300	23100	26000	30100	35300
8	36,6	12100	14600	15400	18300	19000	2200	29200	32900	38100	44600
10	58	19100	23200	24400	29000	30200	34800	46400	52200	60300	70800
12	84,3	27800	33700	35400	42200	43800	50600	67400	75900	87700	103000
14	115	38000	46000	48300	57500	59800	69000	92000	104000	120000	140000
16	157	51800	62800	65900	78500	81600	94000	125000	141000	163000	192000
18	192	63400	76800	80600	96000	99800	115000	159000	-	200000	234000
20	245	80800	98000	103000	122000	127000	147000	203000	-	255000	299000
22	303	100000	121000	127000	152000	158000	182000	252000	-	315000	370000
24	353	116000	141000	148000	176000	184000	212000	293000	-	367000	431000
27	459	152000	184000	193000	230000	239000	275000	381000	-	477000	560000
30	561	185000	224000	236000	280000	292000	337000	466000	-	583000	684000
33	694	229000	278000	292000	347000	361000	416000	576000	-	722000	847000
36	817	270000	327000	343000	408000	425000	490000	678000	-	850000	997000
39	976	322000	390000	410000	488000	508000	586000	810000	-	1020000	1200000

Ruuvien minimimyötö-(0,2)-kuormat

Kierre	Nimell.	Lujuusluokka									
M	jännitys-										
	poikkipinta	3,6	4,6	4,8	5,6	5,8	6,8	8,8	10,9	12,9	
	mm ²	Myötökuorma (0,2 - kuorma) N									
5	14,2	2560	3410	4540	4260	5680	6820	9090	12800	15300	
6	20,1	3620	4820	6430	6030	8040	9650	12900	18100	21700	
7	28,9	5200	6940	9250	8670	11600	13900	18500	26000	31200	
8	36,6	6590	8780	11700	11000	14600	17600	23400	32900	39500	
10	58,0	10400	13900	18600	17400	23200	27800	37100	52200	62600	
12	84,3	15200	20200	27000	25300	33700	40500	54000	75900	91000	
14	115,0	20700	27600	36800	34500	46000	55200	73600	104000	124000	
16	157,0	28300	37700	50200	47100	62800	75400	100000	141000	170000	
18	192,0	34600	46100	61400	57600	76800	92200	123000	173000	207000	
20	245,0	44100	58800	78400	73500	98000	118000	157000	220000	265000	
22	303,0	54500	72700	97000	90900	121000	145000	194000	273000	327000	
24	353,0	63500	84700	113000	106000	141000	169000	226000	318000	381000	
27	459,0	82600	110000	147000	138000	184000	220000	294000	413000	496000	
30	561,0	101000	135000	180000	168000	224000	269000	359000	505000	606000	
33	694,0	125000	167000	222000	208000	278000	333000	444000	625000	750000	

fly high...

...in aerospace testing



Measurement technology
and data acquisition systems
for aerospace applications

HBM... setting the standard in aerospace testing

The world's leading aerospace companies are turning to HBM and the MGCplus as the standard measurement platform for their testing applications. Why?

- One platform for static and dynamic testing, and high-precision measurement
- Data quality and security
- Parallel and synchronous data acquisition
- Ease of use with catman® software
- Excellent price/performance ratio

“

...the captured high speed data and the functionality of catman® alone saved us precious hours or days at a time when we were under a lot of pressure to complete the test.

Peter Davies, Lead Engineer,
Control and Data Acquisitions Systems A340-600
Part Wing Static Test, Airbus UK

”

“

HBM's hardware and software combination gives us the flexibility we need to perform tests ranging from a few channels at high speed to large channel counts.

We felt that HBM's hardware is some of the best we've seen. And we appreciate their experience and level of expertise in strain gage measurement.

Steve Voth, Test Engineer,
Cessna Aircraft Company

”

Static Load
1 Hz

Single Channel

Calibration

1/4 Bridge

3-Wire

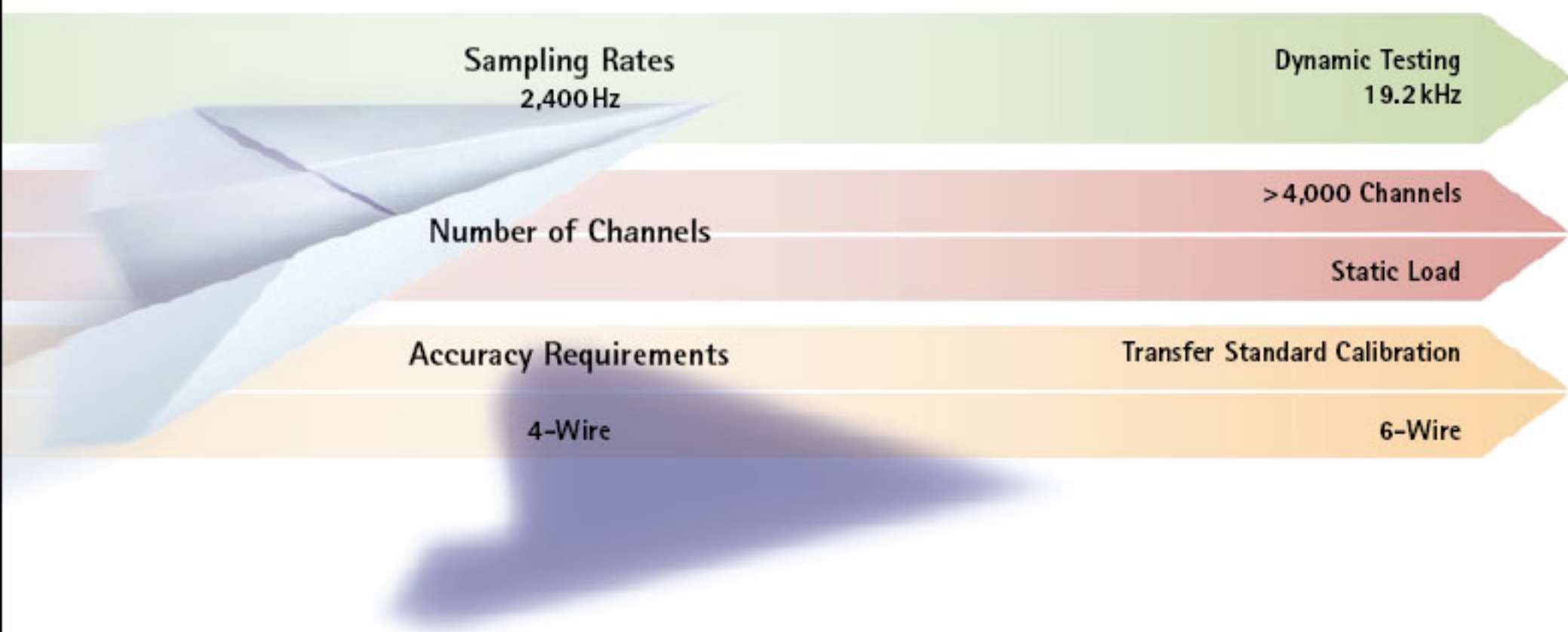
HBM. Your aerospace test and measurement partner

HBM specializes in measurement and data acquisition technology. Our products span the complete test and measurement chain, from strain gages through sensors, electronics and DAQ software for signal processing and display.

Work together with the strain gage experts!

In contrast to our competitors who primarily offer software-driven solutions, we are first and foremost a measurement company with unparalleled knowhow and experience in strain gage technology, especially in aerospace applications.

Our solutions cover a full range of measurement requirements.



Static and dynamic testing applications undertaken on a single measurement platform

The MGCplus measurement system, coupled with catman® software, provides flexibility of channel count ranging from one channel through more than 4,000 channels. It also enables sampling speeds from less than 1 Hz through 2,400 Hz for high-channel density systems. 19.2 kHz can be achieved in the lower density, single-channel cards.

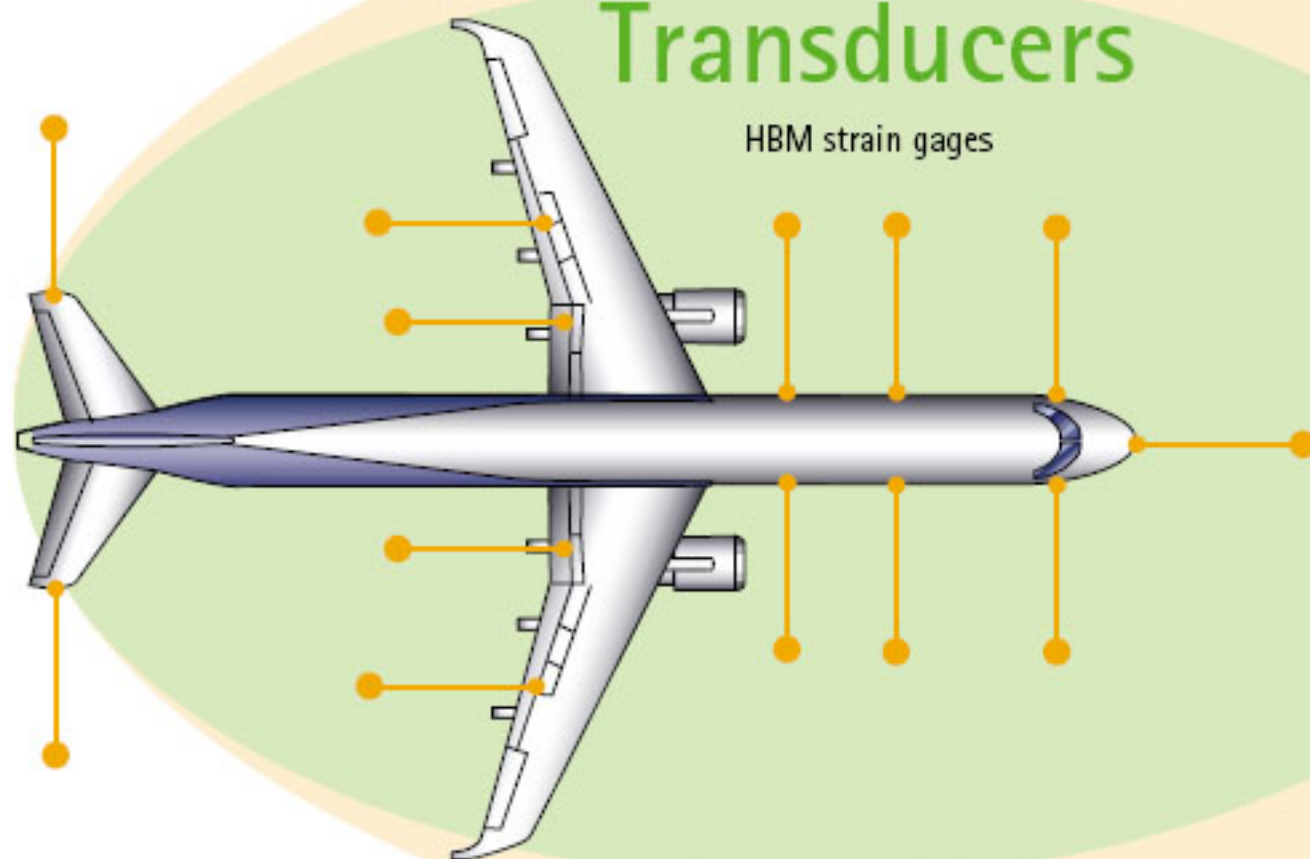
Whatever the system configuration, the MGCplus provides an A/D converter for each channel ensuring a completely synchronous system with full signal integration and digital filtering for the best possible noise performance.

Complete solutions... one supplier

HBM's scope of supply ranges from strain gages to complete turnkey systems. We provide size-configurable, flexible and open measurement systems.

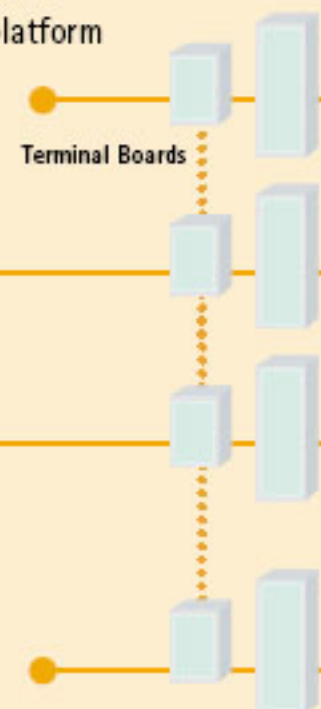
Transducers

HBM strain gages



MGCplus

Hardware DAQ platform



HBM strain gages

HBM offers an extensive selection of:

- Strain gages
- Transducers for force, pressure, displacement and torque
- Customized solutions

All transducer products are designed and adapted to function perfectly with our amplifiers and software, in virtually any possible combination.



MGCplus – The recognized global leader in precision data acquisition

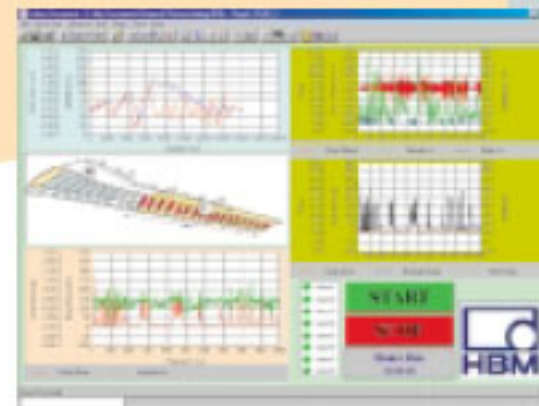
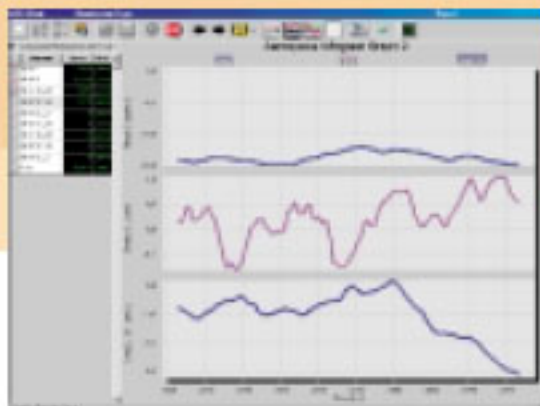
- Up to 128 channels in one 19" rack system
- Simultaneous and parallel data acquisition (24-bit converters) on all channels. Each channel with its own A/D processor
- Autocalibration and calibration with shunt – 3 and 4 wire strain gage circuits – calibrates entire measurement chain including the cable
- Full cable length compensation for resistance and temperature through patented EKC (Enhanced Kreuzer Circuit) technology
- Traceable measurement data with ECID function (Enhanced Confidence in Data) – full instrument set up parameters automatically stored with measurement data file.

catman®

Software DAQ platform

MDS

Complete, integrated turnkey measurement system



catman® – The software for engineers who want to measure, not program!

- One software platform for:
 - Instrument setup
 - Measurement task
 - Data post-processing and visualization
- Easy set up of large channel systems:
 - Test of zero point
 - Automatic test of shunt span
 - Easy deduction of cabling faults
- Enhanced stress analysis capabilities – rosette calculations and temperature compensation methods
- Parameter compensation of strain gage signals for different test article materials
- Standard 100 Mbit Ethernet for high data transfer rates.

MDS (Measurement Data Server) – An open, flexible and scalable measurement system

- Enhanced triggering functions:
 - Variable sampling rates based on events
- Stress/load prediction triggering
- Monitoring of strain within prediction lines
- Automatic test monitoring with different alarm conditions – shut down, display, e-mail messaging
- Real-time distribution of test data to client PC systems
- Open to integration:
 - Digital link to control systems
 - Web cam
 - Corporate LAN.

Companies already benefitting from HBM Data Acquisition Systems

Here are just a few of the testing programs that have adopted HBM's innovative technology, and why they selected HBM...



Airbus, UK A340/600

Application:

- 1,000-channel structural test system.

Main decision criteria:

- One platform for static and dynamic applications
- Data quality and security
- High acquisition rate
- Circular data buffer.

Cessna, USA Citation Sovereign

Applications:

- 1,360-channel structural test system
- 200-channel ironbird testing system.

Main decision criteria:

- Parallel and synchronous data acquisition
- A/D converter for each channel
- State-of-the-art technology
- Confidence in previously acquired systems
- System flexibility.



Embraer, Brazil ERJ 170/190

Application:

- 4,000-channel structural test system.

Main decision criteria:

- System expandable up to 6,000 channels
- Quality of strain gage signal conditioning
- Programmable trigger capability
- Circular data buffer.

HBM. Structural and functional testing in aerospace

- Static and dynamic fatigue testing (full scale)
- Fatigue testing on fuselage, wing structure, landing gear and components
- Ironbird testing
- Space vehicle structural integrity testing
- Wind tunnel testing
- Blade testing of helicopters
- Fan frame testing
- Center of gravity testing

KAI, Korea T 50

Application:

- 200-channel ironbird testing system.

Main decision criteria:

- One platform for:
Pressure
Temperature
Acceleration
Digital input
- Turnkey solution
- Confidence in company based in measurement technology.



EADS (Aerospatiale), France

- 500-channel structural test system.

EADS (CASA), Spain

- 2,000-channel structural test system.

EADS (DASA), Germany

- 250-channel structural test system.

RUAG, Switzerland F-18

Application:

- 1,760-channel structural test system.

Main decision criteria:

- 4-wire 1/4 bridge strain gage connection
- Fully integrated data acquisition and control system.



Messier-Dowty, UK Airbus A340-600, Typhoon

Application:

- Three scalable systems up to 300 channels each for ultimate load and fatigue testing.

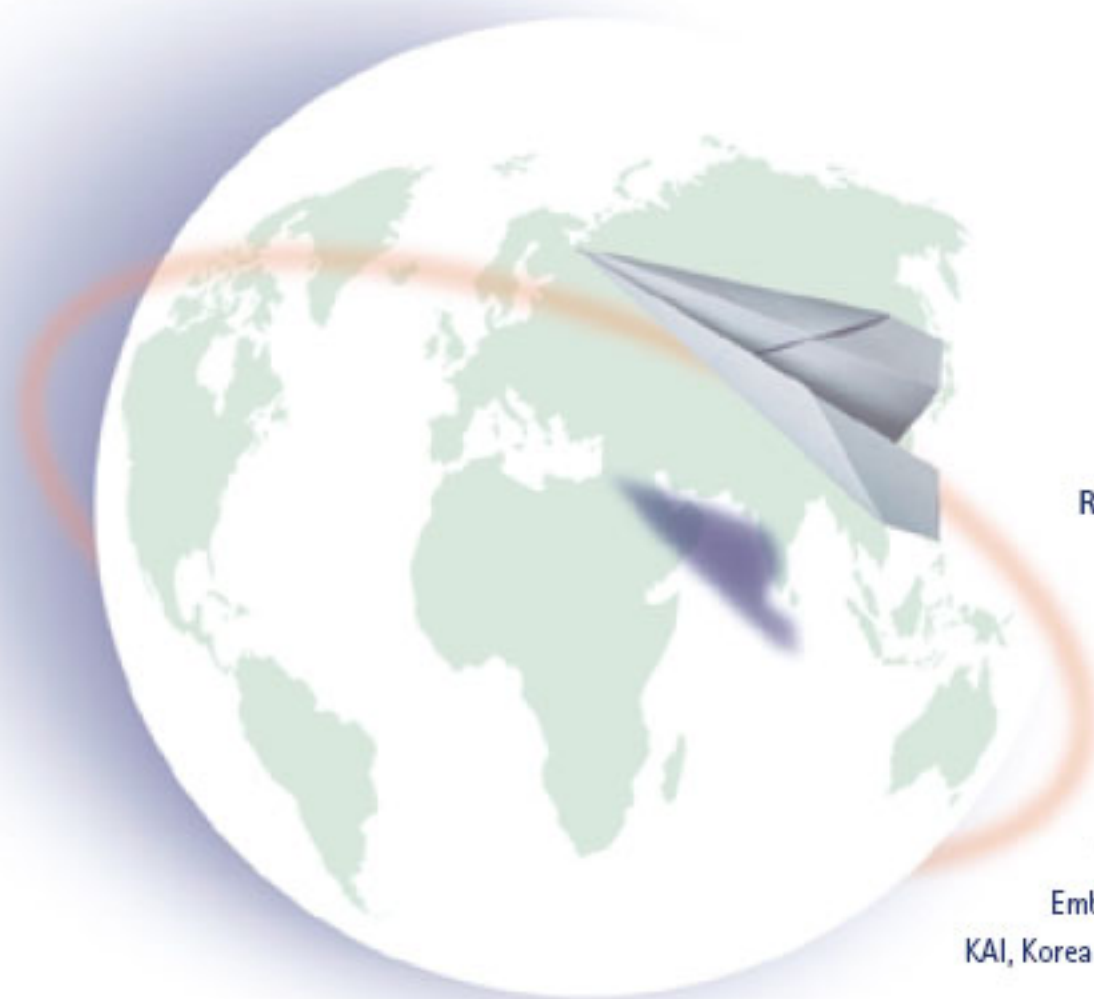
Main decision criteria:

- Ease of use
- Versatility
- Future integration of control system
- Universal amplifier input (1/4, 1/2, and full bridge).



Backed by 50 years of strain gage heritage and a non-stop investment in research and development, HBM delivers the state-of-the-art solutions that are required for the demanding aerospace environment.

With over 7,000 worldwide data acquisition installations serving just about every industry imaginable, HBM systems are an enduring testimony to our ongoing commitment to technological leadership and customer satisfaction.



References from around the world:

RUAG, Switzerland
Messier-Dowty, UK
Airbus, UK
Aerospatiale, France
CASA, Spain
DASA, Germany
Cessna, USA
Embraer, Brazil
KAI, Korea

hbm...

*your partner
in aerospace*

Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

Im Tiefen See 45
D-64293 Darmstadt · Germany

Tel. +49 6151 803-0
Fax +49 6151 803-9100

E-mail: info@hbm.com



measurement with confidence